VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

Эрнст Мах

ПОПУЛЯРНЫЕ ЛЕКЦИИ ПО ФИЗИКЕ

Перевод Г. А. Котляра

R&C Dynamics
РХД
Москва • Ижевск

2001

УДК 530

Интернет-магазин

MATHESIS

http://shop.rcd.ru

- приобретение книг по наиболее низким ценам;
- регулярные сообщения о новых книгах;
- приобретение книг до их поступления в магазины.

Внимание!

Новые проекты издательства РХД

- Электронная библиотека на компакт-дисках

http://shop.rcd.ru/cdbooks

- Эксклюзивные книги — специально для Вас любая книга может быть отпечатана в одном экземпляре

http://shop.rcd.ru/exclusive

Max Э.

Популярные лекции по физике. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001, 128 стр.

Предлагаемая вниманию читателя книга появилась в 1909 году и состоит из нескольких очерков, основанных на лекциях автора. Статьи охватывают широкий спектр науки, рассматривая такие темы, как принципы сохранения энергии и симметрии, принципы сравнения в физике и скорость света.

Данная книга также имеет целью показать романтику и поэзию научного исследования и направлена на широкий круг читателей.

ISBN 5-93972-057-9

© НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001

http://rcd.ru

Оглавление

Предисловие 4

Глава 1. **Форма жидкости** 6

Глава 2. **О волокнах Корти в ухе** 16

Глава 3. **Объяснение гармонии** 26

Глава 4. **К истории акустики** 36

Глава 5. **О скорости света** 43

Глава 6. **Для чего человеку два глаза** 56

Глава 7. **Симметрия** 70

Глава 8. **Принцип сохранения энергии** 81

Глава 9. **О явлениях полета пуль** 110

Предисловие

Предлагаемая небольшая книга содержит очерки знаменитого немецкого физика и философа Эрнста Маха, посвященных в основном физическим вопросам. Эти очерки уже публиковались в издательстве «Образование» в 1909 году под общим названием «Популярно-научные очерки», где к ним были добавлены статьи Маха философского содержания. Мы разделили эти две стороны творчества ученого, и его философские очерки появятся несколько позднее.

В своих физических очерках, написанных на основе лекций, которые Мах читал среди своих «адептов», ученый обсуждает происхождение и смысл основных физических понятий, обычно приводит критические замечания, типичные для его творчества. И конечно, он не отходит от своей философии (являющейся одной из разновидностей субъективного идеализма) в освещении физических феноменов.

Эти лекции доступны уже школьникам старших классов, но представляют интерес для специалистов и широкого круга читателей, включая философов. Тем более, напомним, что с 1917 года в России не выходило ни одного произведения Э. Маха. Это было связано с очень резкой отрицательной оценкой философской стороны его творчества В. И. Лениным в работе «Материализм и эмпириокритицизм». Последнюю работу из сегодняшних студентов вряд ли кто читал, однако, вплоть до 90-х годов она была начальной «классической» книгой, по которой должен был изучаться диалектический материализм.

Для прояснения более глубоких вопросов механики и физики мы рекомендуем фундаментальную книгу Э. Маха «Механика. Историко-критический очерк ее развития», вышедшей в нашем издательстве в 2000 году.

Перевод в этом издании, сделанный в начале прошлого века Г. А. Котляром, теперь является несколько архаичным и его следовало бы существенно переработать. Мы не стали этого делать по двум причинам: выполненный в начале века, когда была напечатана книга, он передавал общие черты лексических особенностей физики того времени — что само по себе является крайне любопытным. Во-вторых, «осовременивание» Маха является очень сложной задачей, и ее решение

существенно бы замедлило появление книги. Мы надеемся, эта книга доставит несколько часов захватывающего и интересного чтения и приведет ко многим полезным размышлениям.

А. В. Борисов

Глава 1

Форма жидкости[1]

Как ты полагаешь, любезный Эфтифрон, что есть святое, что справедливо и что есть добро? Свято ли святое потому, что боги это любят, или боги потому святые, что они любят святое? Такими и подобными им легкими вопросами мудрый Сократ сеял смуту в умных людях на рынках в Афинах, особенно смущал молодых государственных деятелей, которые кичились своими познаниями. Доказывая, как спутаны, неясны и полны противоречий их понятия, он освобождал их от бремени их мнимых познаний.

Вам знакома судьба этого мудреца, пристававшего ко всем со своими вопросами. Люди так называемого хорошего общества избегали встречи с ним и только люди несведущие продолжали ходить за ним. В конце концов ему пришлось выпить кубок яда, который и в настоящее время иному рецензенту его типа кое-кто..., по меньшей мере, от души желает.

Но мы кое-чему научились от Сократа, кое-что нам осталось от него в наследие, это кое-что есть научная критика. Занимаясь наукой, всякий замечает, как неустойчивы и неопределенны понятия, знакомые ему из повседневной жизни, как при более тщательном рассмотрении вещей многие различия стираются и выступают новые. И постоянное видоизменение, развитие и выяснение понятий характеризует историю развития самой науки.

Общее рассмотрение этих неустойчивых понятий может становиться даже неприятным, внушить известное беспокойство, если принять в соображение, что нет ничего, что от этой неустойчивости было бы свободно. В настоящей лекции мы не будем, однако, останавливаться на этом общем явлении. Наша задача здесь другая: мы хотим на одном естественно-научном примере рассмотреть, в какой сильной степени изменяется вещь, если ее изучать все точнее и точнее, и как форма ее становится при этом все более и более определенной.

[1] Лекция, прочитанная в немецком казино в Праге зимою 1868 г.

Большинство из вас полагает, вероятно, что они прекрасно знают, что такое жидкость и что — твердое тело. И именно тот, кого никогда не занимали вопросы физики, скажет, что ничего нет легче, как ответить на эти вопросы. Другое дело — физик: он знает. Это один из самых трудных вопросов физики и что провести границу между твердым и жидким вряд ли возможно. Напомню здесь только опыты Треска. Они показали, что твердые тела, подверженные высокому давлению, обнаруживают те же свойства, что и жидкости: они вытекают, например, в форме струи из отверстия в дне сосуда, в котором они находятся. Мнимое различие состояния, различие между «жидким» и «твердым» здесь сводится к простому различию в степени.

Исходя из сплющенной формы Земли, принято обыкновенно делать тот вывод, что Земля некогда была в жидком состоянии. Но если принять в соображение факты, подобные только что приведенным, то этот вывод нельзя не признать слишком поспешным. Шар в несколько дюймов диаметром, вращаясь, будет сплющиваться, конечно, только тогда, когда он будет очень мягким, например, из свежеприготовленной глины, или даже жидким. Земля же должна быть раздавлена собственной своей огромной тяжестью, если бы она состояла даже из самых твердых камней, и потому не может не обнаруживать некоторые свойства жидкости. Да и горы наши не могут быть выше определенных границ, за пределами которых они не могут не осесть. Возможно, что некогда земля была жидкой, но из того факта, что она теперь имеет сплющенную форму, это никоим образом не следует.

Частицы жидкости чрезвычайно подвижны. Как вас учили в школе, они не имеют собственной формы, а принимают форму того сосуда, в котором они находятся. Приспособляясь до мельчайших деталей к форме сосуда, не обнаруживая даже на свободной поверхности своей ничего, кроме улыбающегося, зеркальногладкого, ничего не выражающего лица своего, она воплощает собой среди всех тел природы самый совершенный тип царедворца.

Жидкость не имеет собственной своей формы! Да, для того, кто бегло ее наблюдает. Но кому случалось заметить, что дождевая капля круглая и никогда не бывает с острыми краями, тот не станет уже столь безусловно верить в этот догмат.

О всяком человеке, даже наиболее бесхарактерном, вы могли бы сказать, что он *обладал* бы характером, если бы в нашем мире все не было так трудно. Так и жидкость имела бы собственную свою форму,

если бы этому не мешал гнет обстоятельств, если бы она не раздавливалась собственной своей тяжестью.

Один досужий астроном рассчитал однажды, что на солнце люди не могли бы жить, даже если бы этому не мешала невыносимая жара: они там были бы раздавлены под тяжестью собственного своего тела, ибо большая масса мирового тела обуславливает большой вес человеческого тела на нем. На луне же, где мы были бы гораздо более легкими, мы могли бы одной силой наших мышц делать без труда огромные прыжки, чуть ли не в башню вышиной. Художественное изваяние из сиропа принадлежит и на луне к области вымыслов. Но там сироп так медленно разливается, что можно было бы, если не в серьез, то в шутку, устроить сиропную бабу, как мы у нас делаем снежную бабу.

Но если жидкость у нас на земле собственной своей формы не имеет, то, может быть, они имеют таковую на луне или на каком-либо другом мировом теле, еще меньшем и более легком? Чтобы познакомиться с собственной формой жидкости, нам остается только одно: устранить действие тяжести.

Эта мысль была вполне осуществлена в Генте ученым *Плато.* Он погружал одну жидкость (масло) в другую равного (удельного) веса, именно в смесь воды с винным спиртом. Согласно принципу *Архимеда*, масло теряет в этой жидкости весь свой вес, оно не падает уже вниз под собственной своей тяжестью, и силы, придающие маслу определенную форму, как бы слабы они ни были, имеют возможность свободно действовать.

И действительно, к нашему удивлению мы замечаем, что масло не разливается по смеси отдельным слоем и не образует бесформенной массы, а принимает форму прекрасного, вполне совершенного шара, свободно парящего в смеси, подобно луне в мировом пространстве. так можно получить из масла шар в несколько дюймов диаметром.

Если в этот масляный шарик внести на проволоке небольшой диск и вращать проволоку между пальцами, то можно привести в движение весь шарик. При этом он немного сплющивается и можно даже добиться того, чтобы от него отделилось кольцо, подобно кольцу Сатурна. Кольцо это в конце концов разрывается и распадается на несколько небольших шариков, давая приблизительное представление о возникновении нашей планетной системы, согласно теории *Канта* и *Лапласа.*

Явления становятся еще более своеобразными, если помешать до известной степени действию формирующих сил жидкости, приведя

в соприкосновение с ее поверхностью какое-нибудь твердое тело. Если, например, в масло погрузить проволочный остов куба, масло везде будет прилипать к проволоке. При достаточном количестве масла можно получить масляный куб с совершенно плоскими стенками. Если же масла слишком много или слишком мало, то стенки куба становятся выпуклыми или вогнутыми. Подобным же образом можно получить из масла самые разнообразные геометрические фигуры, трехгранную пирамиду или цилиндр; в последнем случае масло помещалось между проволочными кольцами.

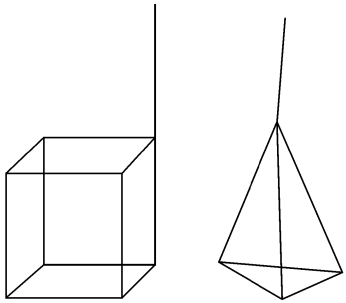


Рис. 1

Интересно, как изменяется форма жидкости, если из того куба или из пирамиды высасывать постепенно масло с помощью небольшой стеклянной трубочки. Проволока крепко удерживает масло. Фигура становится внутри все беднее и беднее маслом и в конце концов совершенно тонкой. Она состоит, наконец, из нескольких тонких плоских пластинок, отходящих от ребра куба и сходящихся в середине его в небольшой капле масла. То же самое происходит и в пирамиде.

Здесь сама собой напрашивается мысль, что такая тонкая жидкая фигура, обладающая и весом весьма незначительным, не может уже быть раздавлена под его тяжестью, как не может быть раздавлен под тяжестью своего тела небольшой мягкий шарик из глины. Но в таком случае нам нет вовсе необходимости в смеси воды с винным спиртом для получения наших фигур, а мы можем получать их на открытом воздухе. И действительно, как нашел тот же *Плато*, можно получить такие тонкие фигуры или, по крайней мере, весьма сходные с ними просто на открытом воздухе. Для этого нужно только погрузить упомянутые проволочные фигуры на один момент в мыльный раствор. Опыт этот проделать нетрудно. Фигура образуется сама собой без всякого затруднения. На рисунке 2 изображены куб и

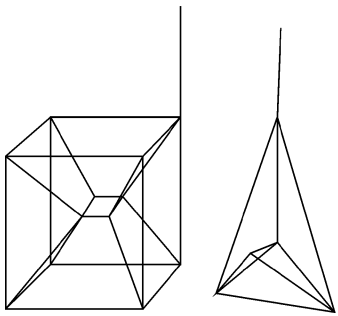


Рис. 2

пирамида, которые при этом получаются. В кубе от его ребра отходят тонкие полоски мыльной пленки к небольшой квадратной пленке в его середине. В пирамиде отходят от каждого ребра по пленке к центру пирамиды.

Фигуры эти такие красивые, что трудно их точно описать. Их замечательная правильность и геометрическая точность приводят в замешательство всякого, кто видит их в первый раз. К сожалению, они только недолговечны. Они лопаются, высыхая на воздухе, показав нам предварительно самую блестящую игру красок, столь характерную вообще для мыльных пузырей. Отчасти ради красоты фигуры, отчасти ради более точного их исследования возникает желание закрепить их форму. Достигается это очень просто. Вместо мыльного раствора погружают для этого проволочную стенку в расплавленную чистую канифоль или клей. Как только мы извлекаем ее оттуда, фигура сейчас образуется и застывает на воздухе.

Следует заметить, что и массивные жидкие фигуры могут быть получены на открытом воздухе, если только сделать их достаточно малого веса, т. е. если воспользоваться для этого достаточно малыми проволочными сетками. Если приготовить себе, например, из очень тонкой проволоки остов кубика, ребро которого имело бы в длину не более 3 мм, то стоит погрузить таковой просто в воду, чтобы получить массивный небольшой водяной кубик. При помощи кусочка пропускной бумаги нетрудно удалить излишнюю воду и сделать стенки кубика более ровными.

Есть еще и другой, более простой способ наблюдать фигуры из жидкости. Капелька воды, помещенная на покрытой жиром стеклянной пластинке, если она достаточно мала, не расплывается, а только несколько сплющивается под действием своего веса, которым она придавливается к подставке. Сплющивание это тем меньше, чем меньше капля. Далее, чем меньше капля, тем более она приближается к форме шарика. Наоборот, капля, висящая на палочке, под действием своего веса удлиняется. Нижние части капли, прилегающие к подставке, придавливаются к ней, верхние части придавливаются к нижним, потому что последние не могут переместиться и уступить им место. Если же капля падает свободно, то все части ее движутся с равной скоростью, ни одна не мешает другой, а потому и ни одна не давит на другую. Свободно падающие капли не испытывают, следовательно, действия собственной своей тяжести, она как бы не имеет тяжести и принимает форму шара.

Обозревая все фигуры из мыльной пленки, которые могут быть получены с помощью различных проволочных стоек, мы можем констатировать большое разнообразие их. Последнее не может, однако, скрыть от нас их общие черты.

«Alle Gestalten sind ähnlich, und keine gleichet der anderen; Und so deutet das Chor auf ein geheimes Gesetz.»[1]

Плато открыл этот тайный закон. Он может быть кратко выражен в следующих двух положениях:

1. Если в фигуре встречается несколько плоских пленок жидкости, то их всегда бывает числом три, а каждая пара их образует почти равные углы.

2. Если в фигуре из жидкости встречаются между собой несколько ребер, то их всегда бывает числом четыре, и каждая пара их образует почти равные углы.

Перед нами два довольно странных параграфа непоколебимого закона, основание которого нам трудно понять. Но то же самое приходится часто наблюдать и в других законах. Не всегда удается по редакции закона узнать разумные мотивы законодателя. В действительности же нетрудно свести наши два параграфа к весьма простым основаниям. Если они выполнены в точности, то дело сводится к тому, чтобы поверхность жидкости имела наименьшие, возможные при данных условиях размеры.

Представим себе, что какой-нибудь очень интеллигентный, знакомый со всеми приемами высшей математики... портной поставил себе задачу покрыть проволочный остов куба какой-нибудь тканью так, чтоб каждый кусок ее примыкал к проволоке и был так же в связи со всей тканью. Допустим, что, совершая эту работу, он руководствуется еще побочным намерением возможно больше ткани... сберечь. Он мог бы получить тогда одну только фигуру, именно ту, которая образуется сама собой из мыльного раствора на проволочной сетке. При образовании фигур из жидкости природа следует принципу этого алчного портного и совершенно не заботится о фасоне. Но странно: при этом сам собой получается самый прекрасный фасон!

Приведенные нами выше два параграфа имеют силу только для мыльных фигур. К массивным фигурам из масла они, само собой разумеется, применены быть не могут. Но тот принцип, что поверхность

[1] «Все формы подобны, но ни одна не равна другой; и Хор толкует это, как проявления тайного закона».

жидкости должна быть при этом наименьшей, возможной при данных условиях, относится ко всем фигурам из жидкости. Если человек знаком не только с буквой закона, но и с мотивами его, он разберется и в тех случаях, к которым буква закона не совсем уж удачно подходит. И так именно обстоит дело с принципом наименьшей поверхности. Им можно руководствоваться везде, даже там, где приведенные выше два параграфа не годятся более.

Рис. 3

Нам нужно теперь, следовательно, прежде всего наглядно показать, что фигуры из жидкости образуются по принципу наименьшей поверхности. В нашей проволочной пирамиде масло в смеси воды с винным спиртом прилипает к ребрам пирамиды, от которых оно отстать не может, и данное количество масла стремится принять такую форму, чтобы поверхность ее оказалась при этом возможно меньшей. Попробуем воспроизвести все эти соотношения! Мы покрываем проволочную пирамиду каучуковой пленкой и проволочную ручку заменяем трубочкой, ведущей во внутрь замкнутого каучукового пространства. Через эту трубочку мы легко можем вдувать и высасывать воздух. Данное количество воздуха представляется нам количеством масла, а натянутый каучуковый покров, обнаруживающий стремление к возможно большему сжатию и прилипающий к проволоке, представляет нам стремящуюся к уменьшению поверхность масла. И, действительно, вдувая и высасывая воздух, мы можем получить все прежние пирамиды, со стенками от самых выпуклых до самых вогнутых. Наконец, высосав весь воздух, мы получаем нашу мыльную фигуру. Каучуковые листочки совсем совпадают, становятся совершенно плоскими и четырьмя острыми ребрами сходятся в центре пирамиды.

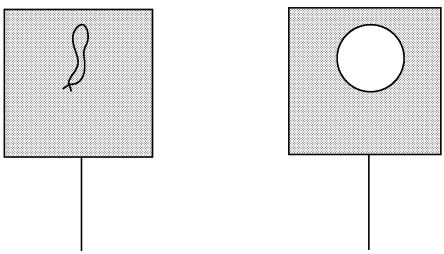


Рис. 4

На мыльных пленках это стремление к уменьшению, как показал Van der Mensbrugghe, может быть доказано непосредственно. Если в мыльный раствор погрузить проволочный квадрат с ручкой, то на нем образуется красивая плоская мыльная пленка. Положим на нее тонкую (шелковую) нитку, концы которой связаны. Если пробить жидкость, замкнутую ниткой, мы получим мыльную пленку с круглым отверстием, границы которого образуются ниткой, пленку, напоминающую плиту в кухне. Так как остаток пленки стремится к наивозможному уменьшению, то отверстие становится наибольшим, возможным при данной длине нитки, что достигается только в случае круглого отверстия.

И свободная от действия тяжести масса масла тоже принимает форму шара на основании принципа наименьшей поверхности. Шар есть форма наименьшей поверхности при наибольшем объеме. Принимает же и дорожный сак тем больше форму шара, чем больше мы его наполняем.

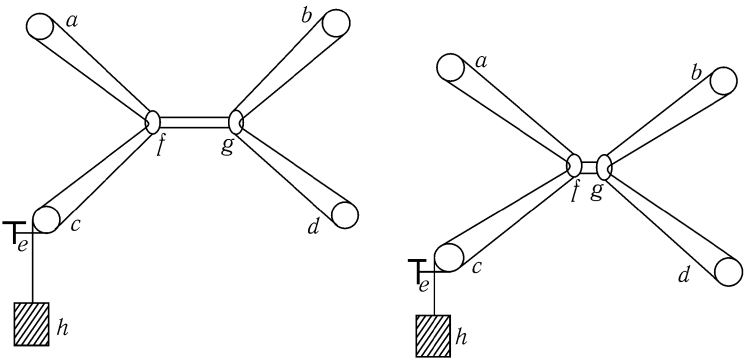


Рис. 5

Каким образом этот принцип наименьшей поверхности может привести к двум нашим странным параграфам? Выясним это на одном более простом примере. Пусть гладкая нитка, прикрепленная к гвоздю e, охватывает четыре неподвижных блока a b c d и, пройдя через два подвижных кольца f g, носит на втором своем конце груз h.

Этот груз имеет одно только стремление — падать вниз, следовательно, часть нитки e h возможно больше удлинить и, следовательно, остальную ее часть возможно укоротить. Нить должна остаться в связи

с блоками и через кольца часть ее должна остаться в связи между собой. Условия здесь, следовательно, те же, что и в фигурах из жидкости, а потому и результат здесь получается подобный же. Если сталкиваются четыре пары шнурков, как это показано на фигуре справа, то на этом дело не кончается. Вследствие стремления нитки к сокращению кольца расходятся и притом так, что теперь везде сходятся три пары шнурков и между каждой парой образуются равные углы (в 120°). И действительно, именно при таком расположении достигается наибольшее сокращение нити, что может быть доказано с помощью элементарной геометрии.

Отсюда мы можем до некоторой степени понять образование прекрасных и сложных фигур вследствие одного стремления жидкости к наименьшей поверхности. Но тут возникает новый вопрос: почему же жидкости стремятся к наименьшей поверхности?

Частицы жидкости прилипают друг к другу. Капли, приведенные в соприкосновение друг с другом, сливаются. Мы можем сказать, что частицы в жидкости притягиваются друг к другу. Затем они стремятся по возможности приблизиться друг к другу. Части, находящиеся на поверхности, будут стремиться по возможности проникнуть внутрь массы жидкости. Этот процесс может завершиться только тогда, когда поверхность ее станет настолько малой, насколько это возможно при данных условиях, когда на поверхности останется возможно меньше частичек, когда внутрь ее массы проникнет возможно больше частичек, когда силам притяжения ничего более делать не останется[1].

Таким образом суть принципа наименьшей поверхности, который на первый взгляд представляется принципом довольно невинного значения, сводится к другому еще более простому принципу, который можно наглядно выразить следующим образом. Силы притяжения и отталкивания природы мы можем рассматривать как ее намерения. То внутреннее давление, которое мы чувствуем до совершения какого-нибудь действия и которое мы называем намерением, в конце концов не так уж сильно отличается по существу своему от давления камня на свою подставку или от влияния одного магнита на другой, чтобы нельзя было к тем и другим явлениям, по крайней мере в известном отношении, применить одно и то же название. Итак, природа имеет намерение приблизить железо к магниту, камень к центру земли и т. д. Когда такое на-

[1] Такие задачи на максимум или минимум играют большую роль во всех почти хорошо разработанных частях физики.

мерение может быть осуществлено, оно осуществляется. Но без всяких намерений природа не делает ничего. В этом отношении она поступает вполне так, как какой-нибудь хороший делец.

Природа стремится опустить грузы возможно ниже. Мы можем поднять груз, если заставим опуститься вниз другой, больший груз, и если удовлетворим другое, более сильное намерение природы. Если же нам кажется, что мы хитро пользуемся природой, то при ближайшем рассмотрении дело оказывается совсем иначе: оказывается всегда, что именно она воспользовалась нами, чтобы осуществить свои намерения.

Равновесие, покой существуют лишь тогда, когда природа не может достичь ни одной из своих целей, когда силы ее удовлетворены настолько, насколько это возможно при данных условиях. Так, например, тяжелые тела находятся в равновесии, когда так называемый центр тяжести их находится возможно ниже или когда возможно ниже опускается столько груза, сколько было возможно при данных условиях.

Трудно отказаться от мысли, что этот принцип сохраняет свое значение и за пределами области так называемой неживой природы. И в государстве равновесие существует тогда, когда намерения партии удовлетворены настолько, насколько это возможно в данный момент, или — как это можно было бы выразиться шутя на языке физики — когда социальная потенциальная энергия достигает минимума[1].

Вы видите, наш принцип купца-скопидома богат последствиями. Результат самого трезвого исследования, он стал для физики столь же плодотворным, как сухие вопросы Сократа для науки вообще. Если этот принцип кажется слишком мало идеальным, то зато тем идеальнее его плоды.

И почему бы науке стыдиться такого принципа? Что она сама такое? Дело — и больше ничего![2] Ставит же она своей задачей — при возможно меньшей затрате труда, в возможно более короткое время, с возможно меньшим даже запасом идей достичь возможно большего в деле познания вечной, бесконечной истины.

---

[1] Сходные с этим рассуждения см. Quételet, «du système sociale»

[2] Сама наука может рассматриваться, как задача на максимум и минимум, подобно торговому делу купца. Да и вообще вовсе не так уже велика разница между духовной деятельностью научного исследователя и деятельностью повседневной жизни, как это обыкновенно себе представляют.

Глава 2

О волокнах Корти в ухе[1]

Кто часто путешествовал, тот знает, что чем больше мы путешествуем, тем сильнее становится наша страсть к путешествиям. Какой прекрасный вид должен открываться на эту лесистую долину вон с того холма! Куда убегает этот светлый ручей, скрывающийся вон там в тростнике? Какой вид открывается там, за той горой, хотелось бы знать? Так размышляет ребенок, которому впервые приходится совершать какую-нибудь поездку. То же самое испытывает и естествоиспытатель.

Первые вопросы возникают в уме исследователя под действием практических соображений, но последующие — нет. К ним влечет уже неодолимая сила, интерес более благородный, выходящий далеко за пределы материальных потребностей. Рассмотрим один специальный случай.

Уже с давних пор привлекает к себе внимание анатомов устройства органа слуха. Их работе обязаны мы изрядным количеством важных открытий, ими был установлен целый ряд фактов и истин. Но вместе с этими фактами появлялся ряд новых удивительных загадок.

Учение об организации и устройстве различных частей глаза разработано уже до большой сравнительной ясности. Развитие учения о лечении глаза тоже достигло ступени, о которой в XVIII столетии едва смели мечтать, и врач при помощи глазного зеркала может рассмотреть всю внутреннюю поверхность глаза. В другом положении теория уха: здесь приходится констатировать мрак столь же таинственный, сколь притягательный для научного исследователя.

Посмотрите-ка на эту модель уха! Посмотрите на эту знакомую всем часть ее, по величине которой люди судят об уме человека, т. е. на ушную раковину. Вот здесь уже начинаются загадки! Вот ряд порой очень изящных извилин, значение которых не поддается точному определению. А между тем, существуют же они здесь для чего-то!

[1] Популярная лекция, прочитанная в 1864 году в Граце.

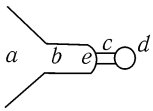


Рис. 6

Из ушной раковины (a в нашей схеме) звук направляется в многократно изогнутый слуховой проход b, конец которого замыкается перепонкой, так называемой барабанной перепонкой e. Звук приводит ее в движение, которое передается далее ряду небольших, удивительно устроенных косточек (c). В конце находится лабиринт (d). Он состоит из нескольких наполненных жидкостью полостей, в которых лежат бесчисленные волокна слухового нерва. Колебанием косточек c приводится в сотрясение жидкость лабиринта и слуховой нерв раздражается. Тогда начинается процесс слуха. Вот все, что установлено наукой. Что же касается подробностей, то здесь множество неразрешенных еще вопросов.

Ко всем этим загадкам *А. Корти* в 1851 году прибавил еще одну. И — странное дело — именно эта загадка, по всей вероятности, нашла первое правильное решение. Вот об этом у нас и будет речь сегодня.

Корти нашел в улитке, одной части лабиринта, большое число микроскопических волокон, расположенных рядом наподобие скалы с геометрической почти правильностью. *Келликер* насчитал до 3 000 таких волокон. Занимались исследованиями их также *Макс Шульце* и *Дейтерс*.

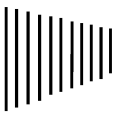


Рис. 7

Я не буду останавливаться на описании подробностей, так как это только затруднило бы вас, не внеся в дело большей ясности. Скажу, поэтому, только коротко, что, по мнению таких выдающихся естествоиспытателей, как *Гельмгольц* и *Фехнер*, является в этих волокнах существенным. В улитке находится, по-видимому, большое число упругих волокон постепенно укорачивающейся длины (см. рис. 7), на которых покоятся разветвления слухового нерва. Очевидно, что эти волокна *Корти* неравной длины должны обладать и упругостью неравной, а потому и должны быть настроены на разные тоны. Улитка, следовательно, есть своего рода пианино.

Для чего может пригодиться такой аппарат, подобного которому нет ни в одном другом органе чувств? Не состоит ли он в связи с какой-нибудь столь же своеобразной особенностью уха? Такая особенность действительно существует. Вы знаете, конечно, что в симфонии можно проследить тот или другой из голосов в отдельности. Даже в баховской фуге это еще возможно, а это ведь уже трудная вещь. В гармонии, как и в величайшей путанице звуков, наше ухо способно различить отдель-

ные тоны. Музыкальное ухо анализирует всякую смесь тонов. В глазе мы аналогичной способности не находим. Кто мог бы, например, рассмотреть в белом свете (не узнав это путем физического эксперимента), что он есть цвет сложный, составленный из целого ряда цветов? И вот существует ли, действительно, связь между этими двумя вещами, названным свойством уха и аппаратом его, открытым Корти? Это весьма вероятно. Загадка разрешается, если мы принимаем, что каждому тону определенной высоты соответствует специальное волокно в ушном пианино Корти, а следовательно, и специальное, покоящееся на нем разветвление нерва.

Чтобы иметь возможность дать вам весьма ясное представление об этом, я попрошу вас сделать со мной несколько шагов в сухую область физики.

Посмотрите на маятник. Выведенный из состояния равновесия толчком, например, он начинает качаться в определенном такте, зависящем от его длины. Более длинные маятники качаются медленнее, более короткие — быстрее. Пусть ваш маятник совершает одно полное колебание (т. е. в одну и противоположную сторону) в одну секунду.

Маятник легко может быть приведен в сильное колебательное движение двояким образом: или сильным внезапным ударом, или рядом небольших толчков, сообщаемых в соответственном порядке. Пусть, например, маятник находится в положении равновесия и мы сообщаем ему очень небольшой толчок. Он сообщает тогда очень небольшое колебание. Когда он по истечении одной секунды в третий раз проходит через положение равновесия, мы снова сообщаем ему очень небольшой толчок в направлении первого толчка. По истечении второй секунды, при пятом прохождении через положение равновесия мы снова сообщаем ему очень небольшой толчок и т. д. Вы видите, что при такой операции наши толчки будут усиливать существующее уже движение маятника. После каждого небольшого толчка размах колебаний становится больше и, наконец, движение становится очень велико[1].

Но это удается нам не всегда, а только тогда, когда мы сообщаем маятнику толчок в том же такте, в котором он сам стремится качаться. Если бы мы, например, сообщали маятнику второй толчок по истечении полсекунды и в направлении первого толчка, то он действовал бы в направлении, противоположном движению маятника. Вообще не трудно

[1]Этот эксперимент вместе со связанными с ним рассуждениями принадлежит Галилею.

заметить, что движение маятника тем более усиливается, чем более такт наших небольших толчков приближается к такту маятника. Если же такт толчков не совпадает с тактом качания маятника, то в один момент они усиливают его качания, но в другой задерживают его. В общем и целом эффект бывает тем меньше, чем более движение нашей руки не совпадает с движением маятника[1].

То, что мы сказали о маятнике, можно сказать и о всяком теле, совершающем колебательные движения. Звучащий камертон тоже совершает колебательные движения. Движение это бывает тем быстрее, чем выше тон его, и тем медленнее, чем он ниже. Наш камертон настроена на тон А, совершает 450 колебаний в секунду.

Я ставлю рядом на стол два совершенно одинаковых камертона, снабженных для резонанса соответственными деревянными коробками. Я сообщаю одному из них сильный удар рукой, чтобы заглушить тон. Тем не менее вы совершенно явственно продолжаете слышать тот же тон. Дотронувшись до второго камертона, вы можете убедиться в том, что вибрирует именно он, хотя он толчка не получал.

Я приклеиваю теперь немного воску к ножке одного камертона. От этого он расстраивается и тон его становится немного ниже. Повторяю тот же эксперимент с двумя камертонами неравной уже высоты, т. е. ударяю один камертон и сейчас же схватываю его рукой. Как только я прикасаюсь к нему, тон сейчас же замирает.

Как же объясняются эти два опыта? Очень просто? Вибрирующий камертон сообщает воздуху 450 толчков в секунду. Эти толчки через воздух сообщаются второму камертону. Если этот последний настроен на тот же тон, т. е. если он, будучи приведен в движение отдельно, колеблется в том же такте, то достаточно первых толчков, как бы малы они не были, чтобы увлечь его в такое же сильное колебательное движение. Но этого не бывает, раз только такт колебаний обеих камертонов несколько

[1]При более близком рассмотрении процесс оказывается несколько сложнее. Если колебательное движение не встречает ни малейшего сопротивления и сообщаемый нами толчок происходит точно в такт колебания, то размах колебания может возрасти до бесконечности. Если такт сообщаемого движения хотя бы в малейшем не совпадает с продолжительностью колебания маятника, то за периодом усиления, тем более продолжительным, чем меньше эта разница, следует период ослабления равной продолжительности. Эта смена усиления и ослабления повторяется много раз, что легко поддается наблюдению, если при помощи камертона, приводимого в колебательное движение электричеством, вызвать колебания в другом камертоне, несколько иначе настроенном. Чем меньше разница между ними, тем дольше продолжается фаза усиления и тем большего размаха может достичь второй камертон. 1902.

различен. Сколько бы камертонов ни звучало, камертон, настроенный на тон А, не будет отзываться ни на один тон, кроме собственного или очень близких к нему тонов. Вы можете привести в движение одновременно 3, 4, 5, ... камертонов, ваш камертон будет отзываться только тогда, когда среди них будет камертон, настроенный на тон А. Таким образом, среди звучащих тонов он выбирает тот, который ему соответствует.

То же самое можно сказать обо всех телах, способных звучать. Когда вы играете на пианино, то стоит вам взять определенные тоны, чтобы зазвучали чайные сервизы или оконные стекла. Аналогичное этому явление можно найти в других областях. Представьте себе собаку, откликающуюся на имя Филакс. Собака лежит под столом. Вы говорите о Геркулесе и Платоне, называете имена всех героев, которые только приходят вам в голову. Собака не трогается с места, хотя очень легкое движение уха указывает, что она следит сознательно за вашей речью. Но стоит вам назвать имя Филакс, чтобы она бросились к вам с радостным лаем. Камертон похож на собаку: он отзывается на имя А.

Вы улыбаетесь, сударыни! Вы делаете недовольную гримасу: вам не нравится эта картина! Я готов вам показать и другую. Выслушайте же меня в наказание. И с вами дело обстоит не лучше, чем с камертоном. Множество сердец бьется вам навстречу. Вы не обращаете на это никакого внимания, вы остаетесь холодны. Но это не поможет вам, настанет когда-нибудь час возмездия. Явится когда-нибудь сердце, бьющееся в нужном ритме, тогда и ваш час пробьет. И ваше сердце, захотите вы этого или нет, начнет биться с ним в унисон. Эта картина по крайней мере не совсем нова, ибо и древним уже, как уверяют филологи, была знакома... любовь.

В применении к телам, которые сами звучать не могут, этот закон, установленный для звучащих тел, должен быть подвергнут некоторым изменениям. Такие тела отзываются почти на каждый тон, но гораздо слабее. Цилиндр, один из наших головных уборов, как известно, не звучит. Но если вы во время концерта держите свой цилиндр в руках, то вы можете всю симфонию не только прослушать, но и почувствовать в пальцах. Это — как и у нас, людей. Кто сам может задавать тон, тот мало заботится о том, что говорят другие. Человек же бесхарактерный ко всему присоединяется, во всем участвует, и в обществе трезвости, и в попойках — везде, где образуется собрание. Цилиндр же среди колоколов — то же, что бесхарактерный среди людей с характером[1].

[1] Если колебаниям приходится преодолевать какое-нибудь сопротивление, то это

Рис. 8

Итак, тело, способное звучать, отзывается всякий раз, как только раздается собственный его тон — один или вместе с другими тонами. Сделаем теперь еще один шаг дальше. Что будет, если мы соединим в одну группу ряд способных звучать тел, высоты тонов которых образуют некоторую скалу? Представьте себе, например, ряд стержней или струн (рис. 8), настроенных на тоны c d e f g. Пусть на каком-нибудь музыкальном инструменте раздается аккорд c e g. Каждый из стержней будет прислушиваться, не содержится ли в этом аккорде собственный его тон, и, найдя его, отзовется и будет звучать вместе с ним. Стержень c сейчас же отзовется, следовательно, тоном c, стержень e — тоном e, стержень g — тоном g. Все остальные стержни останутся в покое и звучать не будут.

Долго искать такой инструмент, какой мы себе здесь вообразили, нам не придется. Каждое пианино есть такой аппарат, на котором можно самым наглядным образом воспроизвести описанный здесь эксперимент. Мы устанавливаем рядом два одинаково настроенных пианино. На одном мы вызываем некоторые тоны, а другое заставляем отзываться, приподняв демпфер и дав таким образом струнам возможность колебаться.

Каждая гармония, взятая на первом пианино, ясно звучит на втором. Покажем теперь, что на втором пианино отзываются те самые струны, которые были приведены в движение на первом, для чего мы несколько видоизменим наш эксперимент. Опустив и на втором пианино демпфер, мы держим на нем только клавиши c e g, а на первом быстро берем c e g. Гармония c e g звучит теперь и на втором пианино. Но если мы на одном держим только клавишу g, а на втором берем c e g, то отзывается только g. Отсюда ясно, что вызвать друг друга могут только одинаковым образом настроенные струны обеих пианино.

Пианино может воспроизвести всякий звук, сложенный из его музыкальных тонов. Так, например, оно очень ясно воспроизводит пропетый перед ним гласный звук. И действительно, и в физике доказывается, что гласные могут быть составлены из простых музыкальных тонов.

последнее по истечении некоторого времени, тем более короткого, чем больше сопротивление, уничтожает не только движения самого колебания, но и действия импульсов. Влияние прошлого исчезает тем быстрее, чем больше сопротивление. Таким образом, усиление действия импульсов бывает вообще ограничено более или менее коротким временем. Но и влияние разности колебаний, тоже основанное на сложении во времени, может оказаться заметным толчком в более слабой степени 1902.

Вы видите, что вызванные в воздухе определенные тоны вызывают на пианино с механической необходимостью вполне определенные движения. Этим можно пользоваться для кое-каких интересных фокусов. Представьте себе ящичек, в котором натянута струна, издающая тон определенной высоты. Стоит пропеть или просвистеть этот тон, чтобы она пришла в движение. При современном состоянии механики совсем не трудно устроить ящичек так, чтобы струна, придя в колебательное движение, замыкала гальваническую цепь и открывала замок. Столь же нетрудно было бы устроить ящичек так, чтоб он открывался на свист определенной мелодии. Одно волшебное слово и падают запоры! Вот и новый волшебный замок, еще одна часть того мира древности, из которого столь много уже в наше время воплощено в действительности, того сказочного мира, что нам снова недавно напомнил телеграф *Казелли*, с помощью которого можно прямо писать вдаль собственным почерком. Что сказал бы по поводу всех этих вещей добрый старый *Геродот*, который уже в Египте по поводу многого только головой покачивал? — «*εμοι μεν ου πιτα*», («мне трудно поверить»), сказал бы он столь же чистосердечно, как и тогда, когда ему рассказывали о путешествии вокруг Африки.

Новый волшебный замок! Зачем же изобретать его? Разве сам человек не есть такой замок? Какие мысли, чувства, ощущения не пробуждает в нем порой одно только слово! Есть же у каждого человека свой период, когда одного имени достаточно, чтобы заставить усиленно биться его сердце. Кто бывал на народных собраниях, тот знает, какую огромную работу, какое движение могут вызвать невинные слова: свобода, равенство, братство!

Вернемся, однако, к более серьезному предмету нашей беседы. Рассмотрим еще раз наше пианино или какой-нибудь другой аппарат, на него похожий. Что делает такой инструмент? Всякую смесь тонов раздающуюся в воздухе, он, очевидно, анализирует, разлагает на отдельные тоны и каждый из этих последних воспринимает *другой* струной: он производит настоящий спектральный анализ звука. Даже совершенно глухой мог бы при помощи пианино, прикасаясь пальцами к струнам или наблюдая колебания их в микроскоп, сейчас же исследовать происходящие в воздухе движения звука и указать отдельные тоны.

Наше ухо обладает теми же свойствами, что и пианино. Оно делает для нашей души тоже, что пианино для уха глухого. Без уха душа глуха. Глухой же вместе с пианино до известной степени вовсе не глух, хотя

слышит, конечно, гораздо хуже и с большим трудом, чем не глухой. И наше ухо разлагает звук на тоны, из которых он состоит. Я вряд ли ошибусь, если предположу, что вы догадываетесь уже о роли, которую играют при этом кортиевы волокна. Мы можем представить себе это дело довольно просто. Воспользуемся одним пианино для возбуждения тонов, а второе представим себе находящимся в ухе наблюдателя, на месте кортиевых волокон, которые, по всей вероятности, представляют собой подобный аппарат. Вообразим себе, что на каждой строке пианино покоится в ухе особое волокно слухового нерва и притом так, что, когда эта струна приходит в движение, то раздражается только это волокно. Возьмем на первом пианино какой нибудь аккорд. На каждом тоне его отзывается определенная струна второго, внутреннего пианино и раздражается столько различных волокон, сколько содержится тонов в аккорде. Одновременные впечатления, исходящие от различных тонов, могут сохраняться таким образом, не смешиваясь, и при достаточном внимании могут быть отделены друг от друга. Дело здесь происходит так, как с пятью пальцами руки: каждым из них вы можете осязать что-нибудь другое. Ухо имеет до 3 000 тысяч таких пальцев и каждый из них предназначен для осязания другого тона[1]. Наше ухо есть волшебный замок упомянутого выше рода. Достаточно волшебного пения одного какого-нибудь рода, чтобы оно открылось. Но то замок довольно замысловатый. Не один только тон, но и каждый тон заставляет его открываться, только каждый делает это иначе. На каждый тон он реагирует другими ощущениями.

История науки знает немало примеров, когда теория предсказывала какое-нибудь явление задолго до того, как оно стало доступно наблюдению. *Леверрье* сначала открыл существование планеты Нептун и определил его место в мировом пространстве и только впоследствии *Галль* действительно нашел его в указанном месте. Гамильтон теоретически вывел явление так называемого преломления света, но только *Ллойду* удалось впервые наблюдать его. И то же самое случилось с теорией *Гельмгольца* насчет кортиевых волокон: и она нашла существенное подтверждение, по-видимому, в позднейших наблюдениях *Генсена.* Раки имеют на своей поверхности ряды длинных и коротких, толстых и тонких, связанных, вероятно, с слуховыми нервами волосков, соответ-

[1] Дальнейшие соображения, выходящие за пределы изложенной здесь мысли Гельмгольца, можно найти в моей книге «Анализ ощущений» (издание второе С. А. Скирмунта. — *Прим. пер.*).

ствующих до известной степени волокнам *Корти*. И вот *Генсену* удалось наблюдать колебательные движения этих волосков в случае возбуждения тонов, причем различные тоны вызывали колебания и различных волосков.

Я сравнил выше деятельность естествоиспытателя с путешествием. Когда вы взбираетесь на новый холм, перед вами открываются новые виды на всю окрестность. Когда исследователю удается найти решение одной загадки, то он тем самым решил целый ряд других.

Вы часто, надо думать, удивляетесь тому, что когда вы поете гамму и доходите до октавы, вы получаете ощущение какого-то повторения, почти то же самое ощущение, какое вы имели при основном тоне. Явление это находит себе объяснение в вышеизложенном взгляде на ухо. И не только это явление, но и все законы гармонии могут быть обобщены и обоснованы с этой точки зрения с ясностью, о которой до сих пор и не думали. На сегодня я, однако, вынужден ограничиться одним намеком на эти заманчивые, открывающиеся перед нами перспективы: рассмотрение их завело бы нас слишком далеко в другую область знания.

Так и естествоиспытатель должен сделать над собой насилие, чтобы идти своим путем. И его влечет от одного чуда к другому, как путешественника от одной долины к другой, как человека вообще обстоятельства толкают из одного положения жизни в другое. Не столько он сам производит исследование, сколько он подвергается исследованию. Но необходимо дорожить временем! И пусть его взгляд не блуждает повсюду без всякого плана! Ибо вот-вот блеснет вечерняя заря, и не успеет он хорошенько осмотреть еще ближайшее чудо, как его схватит могучая рука и уведет его в... новое царство загадок.

Наука некогда стояла в другом совершенно отношении к поэзии, чем в настоящее время. Древние математики Индии писали свои теоремы в стихах и в их задачах цвели цветы лотоса, лилии и розы, отражались прелестные ландшафты, горы и озера.

«Ты плывешь в лодке по озеру. Лилия поднимается на один фут над поверхностью воды. Легкий ветерок наклоняет ее и она скрывается под водой на два фута дальше от прежнего своего места. Скорей, математик, скажи, какова глубина озера?»

Так говорил древний индусский ученый. Эта поэзия исчезла из науки не без основания. Но с сухих листов ее книги веет другой поэзией, которую трудно описать тому, кто никогда не чувствовал ее. Кто хочет вполне насладиться этой поэзией, тот должен сам приняться за работу,

должен сам заняться исследованием. А потому довольно! Я почту себя счастливым, если вы не будете раскаиваться в том, что предприняли со мной эту маленькую прогулку в одну из цветущих долин физиологии, и если унесете с собой убеждение, что и о науке можно сказать то же самое, что и о поэзии:

Wer das Dichten will verstehen,
Muss ins Land der Duchtung gehen;
Wer den Dichter will verstehen,
Muss in Dichters Lande gehen[1].

[1] Кто хочет понять поэзию, тот должен идти в страну поэзии; кто хочет понять поэта, тот должен идти в страну поэта.

Глава 3
Объяснение гармонии[1]

Тема сегодняшней лекции представляет, может быть, несколько более общий интерес. Наша тема — *объяснение гармонии тонов.* Первые и наиболее простые сведения о гармонии относятся к весьма древнему времени. Этого нельзя сказать об объяснении ее законов: оно принадлежит к новейшему времени. Позвольте мне несколько оглянуться назад, чтобы сделать краткий исторический обзор.

Уже *Пифагор* (540–500 до Р. Х.) знал, что если струну определенного напряжения укоротить наполовину, то тон ее переходит в октаву, а если укоротить ее на $^2/_3$, то он переходит в квинту и что первый основной тон дает созвучие с обоими другими. Он знал вообще, что одна и та же струна дает при равном напряжении созвучные тона, если последовательно сообщать ей длины, образующие простые численные отношения, например, $^1/_2$, $^2/_3$, $^3/_4$, $^4/_5$ и т. д.

Но причины этого явления Пифагору узнать не удалось. Какая связь существует между созвучными тонами, с одной стороны, и с простыми числами — с другой? Так спросили бы мы в настоящее время. Пифагору же обстоятельство это казалось, вероятно, не столь странным, сколь необъяснимым. И в наивности, соответствовавшей состоянию науки того времени, он искал причину гармонии в таинственной, чудесной сущности чисел. Это обстоятельство дало существенный толчок развитию мистики чисел, следы которой заметны еще и до сих пор в сонниках, а так же и у тех ученых, которые чудесное предпочитают ясности.

Евклид (300 г. до Р. Х.) дал уже определения созвучия и диссонанса в такой формулировке, что лучшей и до сих пор дать нельзя. Консонанс двух тонов, говорит он, состоит в смешении их, диссонанс же, наоборот, есть неспособность этих звуков смешиваться, почему они и становятся дли уха неприятными. Кто знаком с современным объяснением этого явления, тот может, так сказать, услышать его и в словах *Евклида.* Тем

[1] Популярная лекция, прочитанная в 1864 году в Граце.

не менее *Евклид* не знал истинного объяснения гармонии. Он бессознательно очень близко подошел к истине, но не достиг ее.

Лейбниц (1646–1716 г. г.) снова занялся вопросом, который предшественники его оставили неразрешенным. Он знал, что тоны вызываются колебаниями, что октаве соответствует вдвое больше колебаний, чем основному тону. Страстный любитель математики, он искал объяснение гармонии в таинственном счете и сравнении простых чисел колебаний и в тайном наслаждении души этим занятием. Но как же это, скажете вы, если человек и не подозревает, что тона представляют собой колебания, то счет и наслаждение счетом должны быть такой тайной, о которой ни один человек не знает! Чем только занимаются философы! Скучнейшее занятие — счет сделать принципом эстетики! Вы вовсе не неправы, но и мысли *Лейбница* не были, наверное, так уж нелепы, хотя трудно понять, что он разумел под своим таинственным счетом.

Подобно *Лейбницу*, и великий *Эйлер* (1707–1783 г. г.) отыскивал источник гармонии в порядке, который обнаруживается в числе колебаний и который душа воспринимает с большим удовольствием.

Рамо и *д'Аламоер* (1717–1783 г. г.) подошли несколько ближе к истине. Они знали, что в каждом, употребляющемся в музыке, звуке, рядом с его основным тоном можно расслышать и ближайшую высшую терцию, что, кроме того, всем вообще бросается в глаза сходство между основным тоном и октавой. Поэтому присоединение октавы, квинты, терции и т. д. к основному тону должно было казаться им «естественным». Они стояли, конечно, на правильной точке зрения, но одной «естественностью» явления исследователь удовлетвориться не может. Ведь именно объяснения-то этого «естественного» он и ищет.

Замечание *Рамо* прозябало в течение всего новейшего времени, но не приводило, однако, к полному выяснению истины. *Маркс* поставил его во главу угла своего учения о композиции, но не сделал из него дальнейшего применения. И *Гете*, и *Цельтер* близко подходят, так сказать, к истине в своей переписке. Последнему взгляд *Рамо* был известен. И вы ужаснетесь, наверное, перед трудностью этой проблемы, если я скажу вам, что до самого последнего времени даже профессора физики не могли дать никакого ответа, когда у них спрашивали, как объяснить гармонию.

Только недавно *Гельмгольц* дал решение этого вопроса. Чтобы объяснить его вам, я должен упомянуть предварительно о некоторых опытных положениях физики и психологии.

1. При всяком процессе восприятия, при всяком наблюдении играет важную роль внимание. За доказательствами ходить не далеко. Вы получаете письмо, написанное очень плохим почерком, и вам не удается разобрать его. Вы соединяете то те, то другие линии, но никак никаких букв не получаете. Но вот ваше внимание привлекают к себе группы линий, действительно находящиеся в связи, и вы прочитываете письмо. Надписи, состоящие из небольших значков и украшений, могут быть прочитаны только на большом расстоянии, когда внимание не отвлекается более от общих контуров на мелкие подробности. Прекрасным примером для этого служат шуточные рисунки *Джузеппе Арчимбольдо* в нижнем этаже Бельведерской галереи в Вене. Это — символические изображения воды, огня и т. д., человеческие головы составленные из морских животных и горючих материалов. На близком расстоянии видны только частности, привлекающие к себе наше внимание, а на большом расстоянии можно видеть только общее очертание всей фигуры. Но нетрудно найти такую дистанцию, с которой можно было бы, произвольно направляя внимание, видеть то всю фигуру, то маленькие фигуры, из которых она слагается. Часто встречается картинка, изображающая могилу Наполеона. Могила окружена темными деревьями, из-за которых выглядывает светлое небо, как фон всей картины. Можно долго смотреть на эту картинку, не замечая ничего, кроме деревьев. Но вдруг между деревьями появляется фигура Наполеона. Это происходит тогда, когда мы непроизвольно обращаем внимание на светлый фон. На этом примере как нельзя лучше видно, какую важную роль играет внимание. Один и тот же чувственный объект может, только при содействии внимания, служить источником совершенно различных восприятий.

Когда я воспроизвожу на пианино какую-нибудь гармонию, вы можете фиксировать каждый тон ее в отдельности, только направляя соответственным образом внимание. Вы слышите тогда яснее всего этот фиксируемый тон, а все остальные являются только придатками, изменяющими лишь тембр первого. Впечатление, получаемое от одной и той же гармонии, значительно изменяется каждый раз, когда мы переносим свое внимание от одного тона к другому.

Возьмем любую гармонию и будем фиксировать сперва верхнюю ноту e, а потом бас $e - a$ (см. рис. 9). Одна и та же гармония будет в обоих этих случаях звучать различно. В первом случае вам кажется, что фиксируемый тон остается одним и тем же и изменяется только

его тембр, тогда как во втором случае звук весь целиком понижается. Искусство музыканта в том и заключается, чтобы управлять вниманием слушателя. Но существует и искусство слушать, которое так же не каждому дается.

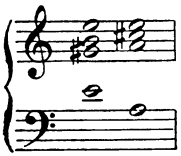


Рис. 9

Пианист хорошо знаком с теми замечательными эффектами, которые достигаются, если из какой-нибудь гармонии выпустить одну ноту (см. рис. 10).

Фраза 1, сыгранная на пианино, звучит почти так же, как и 2. Тон, ближайший к пропущенной клавише, звучит после такого пропуска, как будто заново взятый. Внимание, не отвлекаемое более верхней нотой, сосредотачивается именно на нем.

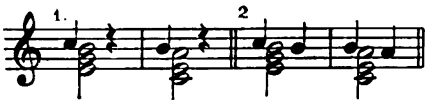


Рис. 10

Разложить любую гармонию на отдельные, входящие в ее состав, тона может уже музыкальное ухо при не очень большом упражнении. С дальнейшим упражнением можно добиться еще большего. Музыкальный звук, который до тех пор принимался за простой, разлагается теперь на ряд тонов (см. рис. 11). Если, например, взять на пианино звук 1, то при достаточном напряжении внимания удается расслышать рядом с основным сильным тоном более слабые обертоны 2, . . . , 7, т. е. октаву, дуодециму, двойную октаву, терцию, квинту и малую септиму двойной октавы.

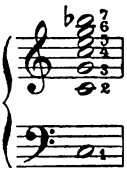


Рис. 11

Совершенно то же самое можно наблюдать и на каждом музыкальном звуке. В каждом из них можно рядом с основным его тоном расслышать — конечно, более или менее сильно — его октаву, дуодециму, двойную октаву и т. д. Особенно легко наблюдать это на открытых и закрытых трубах органа. В зависимости от того, выступают ли в звуке те или иные обертоны, изменяется тембр его — та особенность звука, которой звук рояля отличается от звука скрипки, кларнета и т. д.

На пианино очень легко сделать эти обертоны явственно слышимыми. Если, например, я быстро ударю по клавише, соответствующей ноте 1, а клавиши 1, 2, 3, . . . , 7 одну за другой буду оставлять свободными, то сейчас же после удара 1 звучат 2, 3, . . . , 7, так как струны, освобожденные от демпфера, отзываются на колебания.

Как вам небезызвестно, это одновременное колебание одинаково настроенных струн с обертонами следует рассматривать не как симпатию, а скорее, как сухую, механическую необходимость. Мы не должны, следовательно, представлять себе это дело так, как представлял себе один остроумный фельетонист. Рассказывает он об F–moll–сонате Бетховена ужасную историю, которую я тут же расскажу вам. «На последней выставке в Лондоне сыграли эту сонату на одном и том же пианино девятнадцать виртуозов. Когда же к тому пианино приблизился двадцатый виртуоз, чтобы тоже сыграть ее, пианино, к ужасу всех присутствующих, начало играть ее само собой. В дело пришлось вмешаться присутствовавшему тут же архиепископу Кентерберийскому, который и изгнал F–moll-беса.»

Хотя упомянутые обертоны слышны только при особом внимании, они тем не менее играют очень важную роль как при образовании тембра, так и при консонансе и диссонансе звуков. Может быть, это кажется вам странным? Как может иметь такое значение для слуха вообще то, что можно расслышать только при определенных условиях?

Но обратитесь к собственному вашему повседневному опыту. Сколько есть вещей, которых вы совсем не замечаете, но о которых вы вспоминаете после того, как их уже нет. К вам приходит ваш друг. Вы не знаете, какая перемена с ним произошла. Только хорошенько всмотревшись, вы замечаете, что он остриг себе волосы. Нетрудно узнать издание какой-нибудь книги по одной печати, а между тем вряд-ли кто-нибудь сможет точно указать, чем резко отличаются эти литеры от тех. Мне часто случалось узнавать книгу, которую я искал, по одному лоскутку напечатанной белой бумаги, который высовывался из под груды других книг. А между тем я никогда не рассматривал внимательно бумаги этой книги, да и не мог бы указать, чем она отличается от всякой другой бумаги.

Итак, будем считать установленным, что в каждом музыкальном звуке рядом с основным его тоном можно расслышать еще его обертоны, т. е. октаву, дуодециму, двойную октаву и т. д., и что эти обертоны играют важную роль при сочетании нескольких звуков.

2. Обратимся теперь к другому факту. Обратите внимание на этот камертон. Если его ударить, он дает совершенно ровный тон. Но если вы рядом с ним ударите еще один, который сам по себе тоже дает совершенно ровный тон, но несколько более высокий или более низкий, то, утвердив оба камертона на столе или держа их перед ухом, вы слы-

шите уже не равномерный тон, а ряд толчков. Последние становятся тем быстрей, чем больше разница высот — обоих тонов. Когда число их доходит до 33 в секунду, они становятся довольно неприятными для слуха. Называются они биениями.

Всякий раз, когда из двух равных тонов один выше или ниже другого, т. е. расстроен по отношению к другому, получаются биения. Число их возрастает с увеличением разности высот тонов и они становятся все неприятнее. Эта сиплость звука достигает максимума при 33 биениях в секунду. При дальнейшем расстройстве и при большем числе биений эта неприятная сторона опять ослабляется, так что тона, значительно отличающиеся по высоте, не дают уже оскорбляющих наше ухо биений.

Чтобы до некоторой степени выяснить себе образование биений, возьмите два метронома и установите их приблизительно одинаково. Вам нечего бояться, что они на самом деле будут бить в одно время: существующие в продаже метрономы достаточно плохи, чтобы при установке на равные деления шкалы давать удары заметно неравные. Приведите в действие эти не совсем равно бьющие метрономы, и вы легко заметите, что удары их попеременно то совпадают, то нет. Чередование это происходит тем быстрее, чем различнее такт обоих метрономов. За неимением метрономов, вы можете провести этот опыт с двумя карманными часами.

Вот подобным же образом образуются и биения. Происходящие в известном такте удары двух звучащих тел в случае неравной высоты тонов то совпадают, то нет. В первом случае они усиливают друг друга, во втором ослабляют. Отсюда и происходит неприятное усиление тона, происходящие толчками.

Познакомившись с обертонами и биениями, мы можем приступить к решению главного нашего вопроса. Почему одни отношения высот тонов дают в результате приятное созвучие, а другие — неприятное, диссонанс? По-видимому, все неприятное, вызываемое таким созвучием, исходит от образующихся биений. Биения, по мнению *Гельмгольца*, составляют единственный грех, единственное зло в гармонической музыке. Консонанс есть созвучие без заметных биений.

Чтобы представить это вам достаточно наглядно, я устроил модель. Вы видите здесь клавиатуру (см. рис. 12). Наверху над ней находится передвижной брусок *aa* с отметками 1, 2, . . . , 6. Я перемещаю брусок в какое-нибудь положение, например, так, чтобы метка 1 приходилась на тон *c* клавиатуры, и метки 2, 3, . . . , 6, как вы видите, обозначают

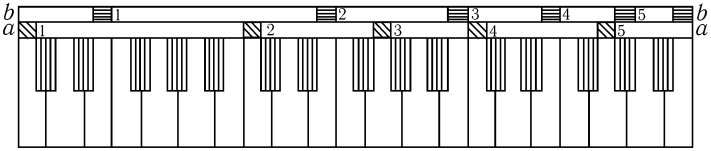


Рис. 12

обертоны. То же получится, если мы переместим брусок в какое-нибудь другое положение. Второй совершенно такой же брусок bb обладает теми же свойствами. Оба бруска в каких угодно положениях обозначают своими метками все тона, вызываемые созвучием звуков, обозначенных меткой 1.

Если установить оба бруска на одном и том же основном тоне, то и все обертоны их совпадут. В таком случае один звук именно только и усиливается другим. Отдельные обертоны одного звука находятся слишком далеко друг от друга, чтобы давать заметные биения. Второй звук не прибавляет ничего нового, а потому и нет новых биений. Однозвучие есть самый совершенный консонанс.

Если мы несколько передвинем один брусок относительного другого, то это будет означать расстройство одного звука. Все обертоны одного звука окажутся тогда рядом с обертонами другого звука, появляются биения, созвучие станет неприятным, мы получим диссонанс. Если продолжать передвигать брусок, мы заметим, что в общем обертоны оказываются все рядом, вызывая биения и диссонансы. Только во вполне определенных положениях обертоны обоих звуков отчасти совпадают. Эти положения обозначают высшую степень благозвучия, консонантные интервалы.

Последние легко найти опытным путем, если вырезать рис. 12 из бумаги и перемещать bb относительно aa. Самыми полными консонансами являются октава и доудецима, потому что в них обертоны одного звука совершенно совпадают с обертонами другого. При октаве, например, $1b$ совпадает с $2a$, $3b$ с $6a$. Биения, следовательно, образоваться не могут. Консонансы, следовательно, суть такие созвучия, которые не сопровождаются неприятными биениями.

Консонируют только такие звуки, которые имеют некоторое число общих обертонов. Естественно, что мы заметим известное родство в таких звуках и тогда, когда они раздадутся один после другого. Ибо

последующий звук, именно благодаря этим общим обертонам, вызовет отчасти то же ощущение, что и предыдущий. Больше всего это заметно при октаве. Когда гамма достигает октавы, кажется на самом деле, что слышишь опять основной тон. Таким образом, основания гармонии являются вместе с тем и основаниями мелодии.

Консонанс есть созвучие без заметных биений. Этого основного принципа вполне достаточно, чтобы внести в учение о генерал-басе удивительный порядок и последовательность. Компендиумы учения о гармонии, мало уступавшие до сих пор в отношении логики — да простит им Господь — поваренным книгам, приобретают ясность и простоту. Более того! Многое из того, что гениальные музыканты, как *Палестрина*, *Моцарт*, *Бетховен*, бессознательно делали вполне правильно, о чем до сих пор невозможно было найти ни в одном учебнике, получает в этом принципе свое обоснование.

И лучшее в этой теории есть то, что на ней видна печать истины. Это не измышление досужего ума. Каждый музыкант может сам услышать биения, которые образуют друг с другом обертоны звуков. Каждый музыкант может убедиться в том, что число и сила биений могут быть заранее вычислены для любого случая и что они действительно наступают так, как это определяет теория.

Таков ответ, данный Гельмгольцом на вопрос, поставленный Пифагором, насколько его можно изложить с помощью тех средств, какие были в моем распоряжении. Много времени прошло от постановки вопроса до его решения. Много раз выдающимся исследователям случалось быть ближе к этому ответу, чем они подозревали об этом сами.

Исследователь ищет истину. Ищет ли истина исследователя, не знаю. Но будь оно так, история науки живо напоминала бы знакомую картину, не раз увековеченную художниками и поэтами. Высокая садовая ограда, справа юноша, слева девушка. Юноша вздыхает, вздыхает и девушка. Оба ждут. Оба и не подозревают, как близко они друг от друга.

Право, аналогия не дурна. Истина позволяет ухаживать за собой, но сама она остается пассивной. Она даже водит исследователя за нос. Она хочет, чтобы ее заслужили, и презирает того, кто хочет овладеть ей слишком быстро. А если один разбивает себе голову, то что ей за беда? На его место является другой, а ведь истина остается вечно юной. Правда, порой кажется, будто она стала благосклоннее к своему поклоннику, но в действительности, этого, признаться, никогда не бывает. Только ко-

гда она бывает в особенно хорошем расположении духа, она улыбнется своему поклоннику ласковой улыбкой. Ибо — думает истина — если я ничего не сделаю, этот бедняга в конце концов совсем мной заниматься перестанет.

Итак, у нас есть кусочек истины. Его мы уже не потеряем! Но когда я вспоминаю, чего она стоила, сколько труда, сколько жизней мыслителей на это ухлопано, сколько столетий жила, прозябая, та мысль, развитая лишь наполовину, пока она достигла полного развития, когда я подумаю, что с этой неказистой модели на нас глядят труды двух тысячелетий — когда я все это подумаю, я — признаюсь чистосердечно — почти раскаиваюсь в своей шутке.

Да и нам многого еще не хватает. Когда по прошествии тысячелетий будут выкапывать из недр земли, из позднейших наносных отложений, сапоги, цилиндры и кринолины, рояли и контрабасы, как раковины XIX столетия, когда будут изучать эти странные вещи или наши современные бульвары, как в настоящее время мы изучаем каменные топоры и свайные постройки, люди понять не смогут, как мы были близки к той или иной истине и не нашли ее в действительности. Итак, нам везде навстречу раздается неустранимый диссонанс, вечно слышится портящая звук септима; мы предчувствуем, правда, она будет устранена, но чистое трехзвучие нам не дается, да... и нашим правнукам не будет дано.

Сударыни! Если ваша милая задача жизни — смущать людей, то моя задача — оставаться ясным до конца. И вот я должен сознаться перед вами в небольшом прегрешении, совершенном мной ради ясности. Я вас кое в чем обманул. Вы мне простите эту ложь, если я, раскаявшись, сейчас же восстановлю истину. Моя модель (рис. 12) не изображает всей истины, ибо она рассчитана на так называемый темперированный строй. Но обертоны звуков не темперированны, а настроены чисто. Благодаря этой небольшой неправильности, модель оказывается значительно проще. Она остается, однако, вполне достаточной для обыкновенных целей, и кто пользуется ею для своих исследований, не должен опасаться заметной ошибки.

Если же вы захотели бы узнать от меня всю истину, я мог бы выразить ее вам только в математической формуле. Я был бы вынужден взять в руки мел и — какой ужас! — в вашем присутствии заняться вычислениями. Вы могли бы обидеться на меня. Нет, этого я не сделаю. Я решил не заниматься сегодня никакими вычислениями, оставить

всякие расчеты. Я рассчитываю сегодня только на одно — вашу снисходительность, и вы мне, надеюсь, не откажете в ней, если примете в соображение, что я не очень злоупотреблял своим правом наводить на вас скуку. Мог же я говорить еще дольше и потому я считаю себя в праве закончить эпиграммой *Лессинга*:

Wenn Du von allem dem, was diese Blätter füllt,
Mein Leser, nichts des Dankes wert gefunden;
So sei mir wenigstens für das verbunden,
Was ich zurück behielt[1].

[1]Если во всем том, чем полны эти страницы, ты не нашел ничего, читатель, что было бы достойно благодарности, то будь мне, по крайней мере, за то благодарен, чего я здесь не изложил.

Глава 4

К истории акустики[1]

Разыскивая работы *Аммонтона*, я натолкнулся на несколько томов мемуаров парижской академии, относящихся к первым годам XVIII столетия. Трудно описать удовольствие, какое испытываешь, перелистывая эти книги, когда, так сказать, переживаешь некоторые из важнейших открытий, когда видишь, как различные области знаний от полного почти неведения развиваются до полной принципиальной ясности.

Мы будем говорить здесь лишь об исследованиях *Совера* в области акустики, которые не лишены некоторого интереса для тонкого музыканта, коему посвящены эти листы[2]. С изумлением узнаешь, в какой мере близок был *Совер* к той точке зрения, которую удалось вполне развить *Гельмгольцу* лишь полтораста лет спустя.

В «Histoire de l'Académie» от 1700 года на странице 131 мы читаем, что *Соверу* удалось сделать из музыки объект естественно-научных исследований и что эту новую науку он назвал «акустикой». На пяти листах перечисляется целый ряд открытий, подробнее изложенных в томе ближайшего года.

Простые отношения чисел колебаний созвучных тонов *Совер* рассматривает, как нечто общеизвестное[3]. Он надеется дальнейшими исследованиями установить главные правила музыкальной композиции и проникнуть в «метафизику приятного», главным законом которой он считает сочетание «простоты с многообразием». Совершенно так же, как впоследствии еще *Эйлер*[4], он считает созвучие тонов тем более совершенным, чем меньше там целых чисел, в которых может быть выражено отношение их чисел колебаний, ибо чем меньше эти числа, тем чаще колебания обоих тонов совпадают и тем легче их *воспринять*. Пределом

[1] Статья эта была первоначально напечатана в сообщениях немецкого математического общества в Праге (1892) и служит для выяснения предыдущего.

[2] Проф. H. Durège.

[3] Дальнейшее почерпнуто из томов 1700 г. (напечатан в 1703 г.) и 1701 г. (напечатан в 1704 г.) отчасти из «Histoire de l'Académie», отчасти из «Мемуаров». Позднейшие труды здесь затрагиваются гораздо меньше.

[4] Euler, Tentamen novae theoriae musicae. Petropoli 1739.

консонанса он считает отношение 5:6, хотя от него и не укрылось то, что упражнение, степень внимания, привычка, вкус и даже предубеждение играют в этом вопросе известную роль, так что последний вовсе не есть вопрос чисто естественно-научный.

Представления *Совера* развиваются потому, что он стремится везде производить более точные количественные изыскания, чем это делалось до него. Прежде всего он желает положить в основу музыкального строя определенный тон в 100 колебаний и определить этот последний так, чтобы он мог быть легко воспроизведен во всякое время, потому что фиксация строя с помощью обычных трубочек, число колебаний которых было неизвестно, казалось ему недостаточным. По *Мерсенну* (Harmonie universelle, 1636), струна 17 футов длины, натянутая 8 фунтами, делает в секунду 8 непосредственно видимых колебаний. Уменьшая длину ее в определенное число раз, можно, следовательно, получить во столько же раз большее число колебаний. Но этот прием кажется ему слишком ненадежным, и он пользуется для своей цели известными в его время всем органным мастерам биениями (battements), которые он вполне правильно объясняет чередующимися совпадениями и несовпадениями разных фаз колебаний неодинаково настроенных тел[1]. Каждому совпадению соответствует усиление звука, а потому числу толчков в секунду соответствует разность чисел колебаний. Если таким образом настроить две органные трубы, как малую и большую терцию в отношении к третьей трубе, то число колебаний первых двух образует отношение 24:25, т. е. на каждые 24 колебания более низкого тона будет приходиться 25 более высокого и одно биение. Если обе трубы вместе делают 4 биения в секунду, то более высокая имеет наш постоянный тон в 100 колебаний. Эта открытая труба имеет в длину 5 фунтов. Этим определены и абсолютные числа колебаний всех остальных тонов.

Отсюда непосредственно следует, что труба, в 8 раз более длинная, т. е. в 40 футов длиной, делает число колебаний $12\frac{1}{2}$. Это число *Совер* приписывает самому низкому из слышимых тонов. Труба же, в 64 раза более короткая, совершает 6 400 колебаний, каковое число *Совер* считает высшим пределом для слышимых тонов. Здесь ярко проявляется чувство удовольствия по поводу удавшегося вычисления «не поддающихся восприятию колебаний», и мы должны признать это чувство вполне законным, если примем в соображение, что принцип *Совера* с некоторыми

[1] Когда *Совер* пытался воспроизвести опыт биения перед академией, ему это очень плохо удалось. «Histoire de l'Académie», 1700, стр. 136.

незначительными видоизменениями составляет еще и в настоящее время самое тонкое и прочное средство для такого определения числа колебаний. Гораздо важнее, однако, было другое еще наблюдение, сделанное *Совером* при изучении биения, и к нему мы еще вернемся.

При упомянутых исследованиях легче гораздо воспользоваться не трубами, а струнами, длина которых может быть изменена при помощи передвижной подставки. Вполне естественно, поэтому, что Совер вскоре стал с особой охотой пользоваться именно этим средством.

Благодаря тому, что одна подставка не совсем хорошо приставала и поэтому не вполне хорошо задерживала колебания, ему удалось открыть сначала ухом гармонические обертоны струны и отсюда он заключил о разделении ее на равные части. Ударяемая струна, например, давала диодециму своего основного тона, если подставка делила струну на отношение 1:2. Вероятно, по предложению какого-нибудь академика[1] были помещены на узлах (noeuds) и пучностях (ventres) разноцветные лоскутки бумаги, и деление струны в то время, когда она издавала соответствующие ее основному тону (Son fondamental) обертоны (sons harmoniques), могло быть непосредственно видно. Место задерживающей подставки скоро заняло более соответствующее цели перо или кисточка.

При этих опытах *Совер* наблюдал также колебание одной струны при возбуждении другой, одинаково настроенной; нашел он так же, что обертон одной струны может отзываться на звук другой струны на тот же обертон. Более того, он даже нашел, что когда одна струна возбуждается другой, не равным образом настроенной, то отзывается общий их обертон; в случае струн, например, с отношением колебаний 3:4 отзывается четвертый обертон струны более низкого тона и третий — более высокого. Отсюда неопровержимо следует, что звучащая струна дает одновременно с основным своим тоном и обертоны. Еще раньше наблюдения других лиц заставили *Совера* обратить внимание на то, что когда играют на музыкальных инструментах, звуки которых разносятся далеко, особенно ночью, то можно довольно отчетливо расслышать обертоны[2]. Он сам говорил об *одновременном* звучании обертонов и основного тона[3]. Но для его теории имело, как мы увидим, роковое значение то обстоятельство, что он не отнесся к этому факту с надлежащим вниманием.

[1] «Histoire de l'Académie», 1701, стр. 134.
[2] Mémoires de l'Académie, 1701, стр. 298.
[3] «Histoire de l'Académie», 1702, стр. 91.

Изучая биения, *Совер* заметил, что они *неприятны* для уха. Он полагает, что биения хорошо слышны только тогда, когда их бывает менее *шести* в секунду. Если их больше, то, полагал он, они плохо поддаются наблюдению и не мешают. Зато он делает попытку свести различия между консонансом и диссонансом к биениям. Послушаем его самого[1].

«Биения неприятны для уха потому, что звук получается неровным, и можно с большой долей вероятности принять, что октавы потому так приятны[2], что в них никогда не слышны биения.

Руководствуясь этой мыслью, мы приходим к тому заключению, что аккорды, в которых не слышны биения, принадлежат как раз к тем, которые музыканты называют консонансами, а те аккорды, в которых слышны биения, суть диссонансы, и что когда какой-нибудь аккорд является диссонансом в одной октаве и консонансом в другой, то это значит, что слышны биения в первой и не слышны во второй. Подобным же образом он судил о неполном консонансе. Из изложенных здесь принципов Совера нетрудно усмотреть, в каких аккордах и в каких октавах выше или ниже постоянного тона слышны биения. Если эта гипотеза верна, то она откроет истинный источник правил композиции, до сих пор неизвестный философии, которая основывается почти всецело на суждениях об ухе. Все подобного рода естественные суждения, как бы они порой не казались произвольными, вовсе не произвольны, а имеют весьма реальные причины, знание которых необходимо для философии для того, чтобы она могла понять те суждения.»

Итак, *Совер* правильно усматривает в биениях помеху созвучию, к которой «вероятно» следует свести всю дисгармонию вообще. Но нетрудно заметить, что согласно его воззрению, все широкие интервалы должны быть консонансами, а все узкие — диссонансам. Кроме того, он совершенно не замечает полного принципиального различия между упомянутым выше старым его воззрением и новым, а, напротив, старается затушевать это различие.

Излагая теорию *Совера*, Р. Смит[3] замечает первый из упомянутых здесь недостатков ее. Оставаясь сам под влиянием более старого воззре-

---

[1] Место это заимствовано из «Histoire de l'Académie, 1700, стр. 139.

[2] Потому что во всех употребляющихся в музыке октавах разность чисел колебаний очень велика. [Э. Max].

[3] R. Smith, Harmonics or the philosophy of musical Sounds. Cambridge 1749. Я только мельком видел эту книгу в 1864 г. и указал на нее в одной своей работе, относящейся к 1866 г. (Einleitung in die Helmholzsche Musiktheorie). Только три года назад мне удалось раздобыть ее и ознакомиться подробно с ее содержанием.

ния *Совера*, большей частью приписываемого Эйлеру, он делает все же небольшой шаг вперед в своей критике настоящего воззрения, как это видно из следующего места[1].

«Правда, что автор не замечает различий между совершенными и несовершенными консонансами. Несовершенные консонансы, в которых замечаются биения, потому что порядок их коротких циклов (Short cycles)[2] периодически прерывается и спутывается, он сравнивает с совершенными, в которых не может быть биений, потому что этот порядок в них никогда не спутывается, не прерывается.

Ведь эта *колеблющаяся сиплость* звука замечается и во всех других консонансах, хотя она ощущается тем слабее, чем циклы короче и проще и чем выше их основной тон. Это сиплость другого рода, чем биения и колебания темперированных консонансов. Ибо в последнем случае мы можем изменить отношение чисел колебаний, изменяя их характер, чего нельзя сделать, когда консананс является совершенным при данной высоте тона. Привычное же ухо часто может слышать и те колебания и биение темперированного консанона, совершенно ясно различая их друг о друга.

Ничего не оскорбляет так ухо слушателя, хотя и не знающего причины этого, как те резкие, пронзительные толчки высоких и громких звуков, которые образуются, благодаря двум несовершенным консонансам. И однако же слегка замедленные толчки, подобно медленным колебаниям замирающего звука, далеки от того, чтобы быть неприятными.»

Итак, *Смиту* ясно, что кроме биений, принятых во внимание *Совером*, существуют еще другие «формы сиплости» и при дальнейшем исследовании эти последние при сохранении мысли *Совера* оказались бы биениями обертонов, а тогда теория достигла бы пункта, до которого она доведена точкой зрения *Гельмгольца*.

Рассмотрим различия между воззрением *Совера* и воззрением *Гельмгольца* и мы найдем следующее:

1. Тот взгляд, что консонанс основан на частом и регулярном совпадении колебаний, на легкости сосчитать их, представляется с новой точки зрения неверным. Правда, простые отношения чисел колебаний являются *математическими* принципами консонанса и *физическими* его условиями, потому что с этим связано совпадение обертонов с даль-

[1] Harmonics, стр. 118 и 243.

[2] «Short cycle» есть период, в которых повторяются одни и те же фазы обеих звучащих одновременно тонов.

нейшими их физическими и *физиологическими* последствиями. Но этим не дано еще *физиологического* или *психологического* объяснения консонанса, хотя бы уже по тому одному, что в соответственном процессе нервного возбуждения нет никаких следов периодичности звукового раздражения.

2. В признании биения помехой для консонанса обе теории сходятся между собой. Но теория Совера упускает, однако, из виду то, что звук есть явление сложное и что главным образом биения обертонов мешают созвучию широких интервалов. Далее, *Совер* ошибся, предполагая, что для того чтобы вызвать нарушения, число биений должно быть меньше *шести* в секунду. Уже *Смит* знал, что очень медленные биения не мешают, а Гельмгольц нашел для максимума нарушений число гораздо большее (33). Наконец, *Совер* не обратил никакого внимания на то, что число биений, правда, возрастает с расстройством звука, но зато *сила* их ослабляется. Опираясь на принцип специфических энергий и законы ответного колебания, новая теория находит, что два движения воздуха равной амплитуды, разных периодов, $a\sin(rt)$ и $a\sin[(r+\rho)(t+\tau)]$, могут передаваться одному и тому же нервному окончанию *не* в равной амплитуде. Нервное окончание, большей частью реагирующее на период τ, оказывается на период $r+\rho$ слабее, так что амплитуды относятся, как $a : \varphi \cdot a$. При этом φ уменьшается, когда ρ возрастает, и становится $= 1$, когда $\rho = 0$, так что только часть $\varphi \cdot a$ подвержена биениям, а $a(1-\varphi)a$ протекает гладко, без нарушений.

Какая же мораль следует из истории этой теории? Принимая во внимание ошибки *Совера*, которые столь близки к истине, мы должны соблюдать известную осторожность и по отношению к новой теории. И для этого действительно имеются как будто некоторые основания.

Музыкант никогда не смешает, как известно, лучше консонирующий аккорд на плохо настроенном пианино, с менее консонирующим аккордом на хорошо настроенном пианино, хотя бы сиплость звука была в обоих случаях одна и та же. Этот факт с достаточной ясностью доказывает нам, что сиплость не *единственная* характеристика гармонии. Музыканту прекрасно известно, что *гармонические* красоты Бетховенской сонаты трудно уничтожить даже на плохо настроенном пианино; они страдают при этом едва ли больше, чем картина Рафаэля, воспроизведенная в грубых чертах. *Положительный физиологически-психологический* признак, отличающий одну гармонию от другой, заключается не в биениях. Не заключается он так же и в том, что когда звучит, напри-

мер, большая терция, то пятый обертон более низкого звука совпадает с четвертым более высокого. Ведь этот признак имеет значение только для занятого исследованием, абстрагирующего ума исследователя. Если бы мы стали рассматривать его так же, как признак ощущения, мы впали бы в основную ошибку, совершенно аналогичную той, о которой мы говорили в первом пункте.

Положительные физиологические признаки интервалов были бы, вероятно раскрыты очень скоро, если бы была возможность сообщать отдельным ощущающим тоны органам не периодические (гальванические, например) раздражения, так чтобы биений совсем не было. К сожалению, такой эксперимент вряд ли можно считать исполнимым. Сообщение же кратковременных и потому также свободных от биений акустических раздражений влечет за собой другое неудобство: высота тона оказывается мало определенной[1].

[1] См. мою книгу «Анализы ощущений».

Глава 5

О скорости света[1]

Когда перед судьей стоит ловкий мошенник, прекрасно умеющий изворачиваться и лгать, то главной задачей первого является вытянуть у второго сознание парой-другой ловко поставленных вопросов. Почти в подобном же положении находится как будто и естествоиспытатель перед лицом природы. Правда, он чувствует себя в данном случае не столько как судья, сколько как шпион, но цель остается одной и той же. В тайных своих мотивах и законах, по которым совершаются в ней явления, — вот в чем должна сознаться природа. Узнает ли он что-нибудь или нет, зависит от хитрости исследователя. Не без основания, поэтому, *Бекон Веруламский* назвал экспериментальный метод допросом, учиненным природе. Все искусство заключается в том, чтобы так поставить вопросы, чтобы они не могли быть оставлены без ответа, без нарушения приличий.

Посмотрите-ка еще на многочисленные инструменты и аппараты, во всеоружии которых исследователь приступает к допросу природы и которые делают будто смешными слова поэта: «Что она тебе открыть не может, то ты не выудишь у нее никакими рычагами и винтами». Рассмотрите эти аппараты, и аналогия с орудием пытки будет напрашивается сама собой.

Воззрение на природу, как на нечто намеренно от нас скрытое, разоблачение чего возможно только при помощи насильственных и недобросовестных средств, было некоторым древним мыслителям более близко, чем нам. Один греческий философ, говоря о естествознании своего времени, высказал мнение, что богам может быть только неприятно, когда люди пытаются узнать то, чего они открывать им не желают[2] Правда, с этим соглашаются далеко не все его современники. Следы этого воззрения можно найти и в современное время. В общем и

[1] Лекция, прочитанная в Граце в 1866 году.

[2] У Ксенофонта (Memorabil. IV. 7) Сократ говорит «*ουτε γαρ ευρετα ανθξωποις αυτα ενομιζεν ειναι ουτε χαςιζεσθαι θεοις αν ηγειτο τον ζητουντα α εκεινοι σαφηνισαι ουκ εβουληθησαν*».

целом, однако, мы в настоящее время не так уж ограничены. Мы верим уже, будто природа намеренно от нас скрывается. Из истории науки мы знаем уже, что иногда вопросы наши были бессмысленно поставлены, так что и не могло быть на них никакого ответа. Более того, мы скоро увидим, что и сам человек со всем своим мышлением, со всеми своими исследованиями есть ничто иное, как часть все той же жизни природы.

Но будете ли вы смотреть на инструменты физики, как на орудие пытки или орудие ласки, как вам больше понравится, во всяком случае вам будет же интересно познакомиться с частицей истории этих орудий, во всяком случае не будет же вам неприятно узнать, какие своеобразные затруднения привели к столь странным формам этих аппаратов.

Галилей (род. в 1564 г. в Пизе, ум. в 1642 г. в Арчетри) первый задался вопросом, как велика скорость света, т. е. в течение какого времени появившийся в каком-нибудь месте свет становится видимым на другом месте, отстоящем от первого на определенном расстоянии?[1].

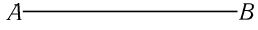


Рис. 13

Метод, придуманный *Галилеем* для решения этого вопроса, был столь же прост, как и естественен. Два опытных наблюдателя, снабженных потайными фонарями, были помещены в ночное время на значительном расстоянии друг от друга, один в A, другой в B. Первый должен был в определенное время открыть свой фонарь. Второй должен был сделать то же самое, как только заметит свет первого. Ясно, что время, прошедшее от момента, в который человек в A открывает свой фонарь, до момента, в который он видит свет второго фонаря, и есть то время, которое нужно свету, чтобы пройти из A в B и обратно из B в A. Этот опыт не был осуществлен никогда, да и не мог, как это скоро понял сам *Галилей*, увенчаться успехом.

Как мы знаем уже в настоящее время, свет распространяется слишком быстро, чтобы можно было его таким образом наблюдать. Время, прошедшее от прибытия света в B до восприятия его наблюдателем, время между решением открыть фонарь и исполнением этого решения, как мы теперь знаем, несравненно больше, чем время, нужное свету для прохождения земных расстояний. Как велика скорость света, мы убедимся из того, что молния в темную ночь освещает сразу огромную площадь, тогда как удары грома, отдающиеся эхом один за другим в различных местах, доходят до уха наблюдателя в заметные промежутки времени.

[1] Galilei, Discorsi e dimonstrazione mathematiche. Leyden. 1638. Dialogo primo.

Таким образом, старания Галилея определить скорость света не привели в его время ни к чему. Тем не менее дальнейшая история измерения скорости света тесно связана с его именем, потому что он с помощью устроенного им телескопа открыл четыре спутника Юпитера, а эти последние и стали средством для того, чтобы определить искомую скорость.

Земные пространства были слишком малы для опыта *Галилея.* Определение оказалось удачным только после того, как обратились за помощью к пространствам нашей планетной системы.

Это удалось сделать *Олофу Ремеру* (род. в Ааргусе в 1644 г., ум. в Копенгагене в 1710 г.) в 1675–1676 гг. Вместе с *Кассини* он делал наблюдения в Парижской обсерватории над обращением спутников Юпитера.

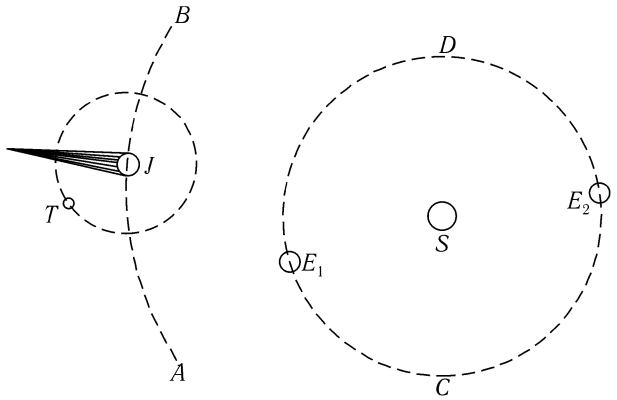


Рис. 14

Пусть линия AB есть путь Юпитера. Пусть S есть Солнце, E — Земля, I — Юпитер и T — его первый спутник. Когда Земля находится в E_1, мы видим, как спутник вступает в тень Юпитера, и на основании этого периодического затмения мы можем вычислить время его обращения вокруг Юпитера. *Ремер* определил его в 42 часа 27 минут и 33 секунды. Когда же Земля, двигаясь по своей орбите и пройдя точку C, приходит в E_2, то кажется, что время обращения спутника удлиняется, затмения наступают несколько позже. Когда Земля находится в E_2, затмение опаздывает на 16 минут 26 секунд. Когда Земля проходит через D снова в E_1, обращение спутника становится как буд-

то опять быстрее, и когда Земля достигает точки T_1, то оно становится таким же, как и раньше. Нужно заметить при этом, что за то время, пока Земля сделает полный оборот вокруг Солнца, Юпитер успеет пройти очень небольшую часть своего пути. *Ремер* тотчас же догадался, что эти периодические изменения времени обращения могут быть не действительными, а только кажущимися, стоящими в связи со скоростью света.

Уясним себе это явление наглядным образом. Предположим, что правильно приходящая почта приносит нам известия о политических событиях в каком-либо городе. Как бы далеко от этого города мы не находились, мы узнаем о каждом событии, правда, позже, но *одинаково* поздно обо всех. События совершаются для нас с той же быстротой, как и в действительности. Но если мы находимся в пути и удаляемся от этого города, то всякое новое известие должно приходить к нам позже, и события кажутся нам совершающимися медленнее, чем на самом деле. Обратное произойдет, если мы будем приближаться к городу.

Пока мы остаемся в покое, мы слышим какое-нибудь музыкальное произведение в одном и том же темпе, на каком расстоянии мы бы не находились. Этот темп должен казаться нам быстрее, когда мы быстро приближаемся к тому месту, где играет оркестр; он должен замедляться, когда мы быстро удаляемся от этого места.

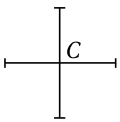


Рис. 15

Представьте себе крест (рисунок 15), равномерно вращающийся вокруг своего центра, например, крылья ветряной мельницы. Этот крест представляется вам вращающимся медленнее, когда вы очень быстро удаляетесь от него. Свет, который в данном случае играет роль почты, приносящий вам известия о положении креста, должен в каждый последующий момент проходить все большее и большее расстояние.

То же самое должно происходить и при вращении спутника Юпитера. Наибольшее запаздывание затмения в то время, как Земля переходит из E_1 в E_2 и удаляется, следовательно, от Юпитера на расстояние своей орбиты, соответствует, очевидно, тому времени, в которое свет проходит этот диаметр. Диаметр этот известен, запаздывание тоже. Отсюда легко вычислить скорость света, т. е. путь, проходимый светом в одну секунду. Он составляет 42 000 географических миль или 300 000 километров.

Этот метод сходен с методом *Галилея*. Средства здесь только лучше выбраны. Вместо того небольшого расстояния мы пользуемся диа-

метром земной орбиты (41 миллион миль); роль фонаря, который то закрывается, то открывается, играет спутник Юпитера, который то затмевается, то снова показывается. Таким образом, *Галилею* не удалось выполнить своего измерения, но фонарь, при помощи которого оно было выполнено, открыт им.

Это прекрасное открытие вскоре перестало удовлетворять физиков. Искали более удобные способы, чтобы измерить скорость света на земле. Это можно было сделать после того, как стали известны сопряженные с этим трудности. *Физо* (род. в 1819 г. в Париже) произвел такие измерения в 1849 г.

Рис. 16

Попробую объяснить вам сущность аппарата *Физо*. Пусть S обозначает диск, снабженный у краев отверстиями и вращающийся около своего центра. Пусть L есть источник света, посылающий свои лучи на непокрытую ничем стеклянную пластинку A, наклоненную к оси диска под углом в $45°$. Луч света отражается в этой пластинке, проходит через одно из отверстий в диске и падает перпендикулярно на зеркало B, помещенное, допустим, на расстоянии одной мили от S. От зеркала B луч отражается, снова проходит через одно из отверстий диска, отражается от стеклянной пластинки и попадает в глаз наблюдателю O. Таким образом, глаз видит через стеклянную пластинку и отверстие в диске пламя Z, отраженное в зеркале B.

Если мы будем вращать диск, то отверстия его будут постоянно сменяться промежутками между ними, и наблюдатель будет видеть отражения света в зеркале B с перерывами. Если быстро вращать диск, перерывы эти становятся незаметны для глаза и наблюдатель снова видит зеркало B равномерно освещенным.

Все это происходит только в случае не очень большой скорости вращения диска, а именно, если свет, дойдя через отверстие диска до

зеркала B и отразившись обратно, находит отверстие почти в том же положении и проходит сквозь него второй раз. Теперь представьте себе, что скорость эта настолько возросла, что луч, отразившись от зеркала и вернувшись к диску, находит вместо отверстия промежуток. Очевидно, что он тогда достичь глаза не может. Зеркало B видно только в том случае, когда до него доходит свет. Когда же свет от него отходит к глазу, оно оказывается закрытым. Вследствие этого зеркало всегда будет казаться темным.

Если еще более увеличить скорость вращения, то луч света, вернувшись от зеркала, мог бы попасть если не в тоже самое отверстие, то в соседние, и таким образом достичь глаза.

Следовательно, при постоянно и непрерывно увеличиваемой скорости вращения зеркало B являлось бы попеременно то светлым, то темным. Ясно, что если число отверстий в диске, число оборотов его в секунду и путь SB известны, то можно вычислить скорость света. Результат этого вычисления совпадает с тем, который был получен *Ремером.*

Дело, впрочем, обстоит не так просто, как я это изобразил. Нужно принять меры, чтобы свет проходил путь SB не рассеиваясь. Это достигается с помощью труб.

Если мы присмотримся ближе к аппарату *Физо*, то мы найдем в нем что-то знакомое: ту самую диспозицию, которая предполагалась и в опыте *Галилея* — L заменяет собой фонарь A, вращающийся диск с отверстиями регулярно закрывает и открывает его. Вместо неловкого наблюдателя B мы находим зеркало B, которое становится светящимся уж несомненно в тот самый момент, когда доходит до него свет от S. Диск S, то пропуская, то не пропуская сквозь себя возвращающиеся лучи света, оказывает помощь наблюдателю O. Опыт *Галилея* здесь, так сказать, повторяется громадное число раз в секунду и суммарный результат его может быть действительно наблюдаем. Если бы я позволил себе применить к этой области теорию Дарвина, я сказал бы, что аппарат *Физо* ведет свое происхождение от фонаря *Галилея.*

Еще более остроумным методом для измерения скорости света воспользовался *Фуко*, но описание его здесь завело нас слишком далеко.

Измерение скорости света удается произвести и по методу *Галилея.* Здесь, следовательно, не приходилось уже ломать голову над отысканием лучшего метода. Но мысль, вызванная к жизни необходимостью, нашла себе применение и в этой области.

Кениг в Париже устроил аппарат для измерения скорости звука, напоминающий метод *Физо*. Устройство его очень несложно. Он состоит из двух электрических приборов, отбивающих вполне одновременно десятые доли секунды. Если оба прибора поставить рядом, то где бы мы не стояли, удары их будут слышны одновременно. Но если один из них мы поставим рядом с собой, а другой отнесем на значительное расстояние, то в общем совпадение ударов уже наблюдаться не будет. Соответственные удары второго прибора будут достигать нашего уха позднее. Первый удар его будет следовать непосредственно за первым ударом прибора, около которого мы стоим и т. д. Делая расстояние между приборами еще больше, можно достичь того, что снова наступит совпадение ударов. Первый удар одного будет совпадать со вторым ударом другого, второй с третьим и т. д. Ясно, что если приборы отбивают десятые доли секунд и если мы знаем расстояние, на которое они должны быть удалены друг от друга, чтобы наступило первое совпадение ударов, мы знаем путь, который проходит звук за одну десятую долю секунды.

Перед нами здесь явление, встречающееся довольно часто. Какая-нибудь мысль с великим трудом развивается в течение столетий, но, раз развившись, она становится, так сказать, весьма плодовитой. Она проникает повсюду, не исключая и таких голов, в которых она никогда развиться не могла бы. Она становится прямо неискоренимой.

Определение скорости света — не единственный случай, в котором непосредственное восприятие наших чувств становится слишком медлительным и неповоротливым. Самое обычное средство для изучения слишком быстрых процессов непосредственным наблюдением заключается в том, что устанавливается взаимодействие между процессами, подлежащими исследованию, и другими процессами, которые нам уже знакомы и поддаются сравнению с теми в отношении своей скорости. Результат в большинстве случаев получается весьма наглядный и дает возможность делать заключения о том, как происходят неизвестные пока процессы.

Скорость распространения электричества определить непосредственным наблюдением невозможно. Но *Уитстон* попытался определить ее, наблюдая электрическую искру в зеркале, вращающемся с огромной, но известной скоростью.

Когда мы размахиваем взад и вперед каким-нибудь стержнем, то одного непосредственного наблюдения недостаточно, чтобы определить, какой скоростью он обладает в каждой точке своего пути. Но будем рас-

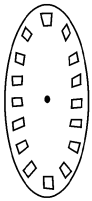


Рис. 17

сматривать наш стержень сквозь отверстия, расположенные по краям быстро вращающегося диска. Мы видим тогда движущийся стержень только в определенных положениях, когда отверстие проходит перед нашим глазом.

Отдельные образы стержня остаются на некоторое время в глазу. Нам кажется, что мы видим несколько стержней (см. рисунок 18). Если отверстия в диске расположены на равном расстоянии друг от друга и диск вращается равномерно, то мы ясно видим, что от a до b наш стержень движется медленно, от b до c быстрее, от c до d еще быстрее и всего быстрее от d до e.

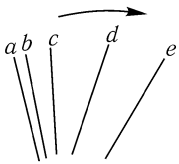


Рис. 18

Водяная струя, вытекающая из какого-нибудь сосуда, кажется совершенно спокойной и равномерной. Если же, однако, ее мгновенно осветить в темноте электрической искрой, то мы видим, что струя состоит из отдельных капель. Так как они капают быстро, то отдельные образы их сливаются и струя представляется непрерывной. Рассмотрим эту струю через вращающийся диск. Заставим этот диск вращаться с такой быстротой, чтобы в то время, когда второе отверстие встанет на место первого, и первая капля становилась на место второй, вторая на место третьей и т. д. Мы увидим тогда капли все на одном и том же месте. Струя будет представляться неподвижной. Если же мы станем вращать наш диск несколько медленнее, то в то время когда второе отверстие станет на место первого, первая капля упадет несколько ниже второй, вторая несколько ниже третьей и т. д. Через каждое последующее отверстие мы будем видеть каплю несколько ниже. Будет казаться, что струя медленно течет вниз.

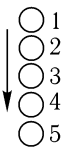


Рис. 19

Но начнем вертеть диск быстрее. В этом случае, пока второе отверстие станет на место первого, первая капля еще может не дойти до второго места, и мы найдем ее несколько выше, вторую несколько выше третьей и т. д. Через каждое последующее отверстие мы увидим каплю несколько выше. Получится такой вид, будто бы струя течет вверх, будто капли поднимаются из нижнего сосуда в верхний.

Вы видите, как физика становится все более и более страшной. Скоро настанет момент, когда физика будет в состоянии играть роль рака в Моринском озере, в столь ужасных чертах описанную поэтом *Копишом* в следующем стихотворении.

Der grosse Krebs im Mohriner See.

Von Kopisch.

Die Stadt Mohrin hat immer acht,
Guckt in den See bei Tag und Nacht:
Kein gutes Christenkind erlebt's,
Dass los sich reisst der grosse Krebs!
Er ist im See mit Ketten geschlossen unten an,
Weil er dem danzen Lande Verderben bringen kann!

Man sagt: er ist viel Meilen gross
Und wend't sich oft, und kommt er los,
So währt's nicht lang, er kommt ans Land,
Ihm leistet keiner Widerstand:
Und weil das Rückwärtsgehen bei Krebsen alter Brauch,
So muss dann alles mit ihm zurücke gehen auch.

Das wird ein Rückwärtsgehen sein!
Steckt einer was ins Maul hinein,
So kehrt der Bissen, vor dem Kopf,
Zurück zum Teller und zum Topf!
Das Brot wird wieder zu Mehle, das Mehl wird wieder zu Korn —
Und alles hat beim Gehen den Rücken dann von vorn.

Der Balken löst sich aus dem Haus
Und rauscht als Baum zum Wald hinaus;
Der Baum kriecht wieder in den Keim,
Der Ziegelstein wird wieder Leim,
Der Ochse wird zum Kalbe, das Kalb geht nach der Kuh,
Die Kuh wird auch zum Kalbe, so geht es immer zu!

Zur Blume kehrt zurück das Wachs,
Das Hemd am Leibe wird zu Flachs,
Der Flachs wird wieder blauer Lein
Und kriecht dann in den Acker ein.
Man sagt beim Bürgermeister zuerst die Not beginnt,
Der wird vor allen Leuten zuerst ein Päppelkind.

Dann muss der edle Rat daran,
Der wohlgewitzte Schreiber dann;
Die erbgesess'ne Bürgerschaft
Verliert gemach die Bürgerkraft.

Der Rektor in der Schule wird wie ein Schülerlein,
Kurz eines nach dem andern wird Kind und dumm und klein.

Und alles kehrt im Erdenschoss
Zurück zu Adams Erdenkloss.
Am längsten hält, was Flügel hat;
Doch wird zuletzt auch dieses matt:
Die Henne wird zum Küchlein, das Küchlein kriecht ins Ei,
Das schlägt der grosse Krebs dann mit seinem Schwanz entzwei!

Zum Glücke kommt's wohl nie so weit!
Noch blüht die Welt in Fröhlichkeit:
Die Obrigkeit hat wacker acht,
Dass sich der Krebs nicht locker macht;
Auch für dies arme Liedchen wär'das ein schlechtes Glück:
Es lief vom Mund der Leute ins Tintenfass zurück.[1]

Разрешите мне несколько замечаний общего характера. Вы заметили уже, что целый ряд аппаратов, служащих для различных целей,

---

[1] Великий рак в Моринском озере.
Стихотворение *Копиша.*

Город Морин всегда настороже, наблюдает за озером и день и ночь: не дай Бог никому дожить, чтоб вырвался великий рак! Цепями он прикован ко дну озера, потому что он грозит гибелью всей стране! Говорят: он величиной во много миль и часто поворачивается. Стоит ему оторваться и он скоро явится на землю и тогда никто и ничто ему противостоять не сможет; а так как раки с давних пор пятятся назад — уж таков старинный их обычай! — то и все должно с ним пятится назад. То-то будет движение вспять! Если кто возьмет что-либо в рот, кусок повернется ото рта к тарелке, а там и в горшок! Хлеб снова превратится в муку, мука в пшеницу и все будет двигаться задом наперед. Стропила оставят свои дома и, превратившись в деревья, с шумом двинутся в лес; дерево сползет в землю, снова станет ростком, кирпич снова станет глиной, вол превратится в теленка, теленок двинется к корове, но и та станет теленком и т. д. и т. д.! Собранный воск вернется к цветку, рубаха снова станет льном, лен снова станет льняным семенем, и сползет в распаханную пашню. Говорят, беда постигнет прежде всего бургомистра: он раньше всех превратится в малого ребенка. Затем настанет очередь благородного советника, за ним очередь остроумца-писаря; мало-помалу родовое мещанство будет терять свое значение и силу. Сам директор школы станет не больше самого малого ученика. Одним словом, все один за другим станут детьми и глупыми и малыми. И все вернется к миру Адама. Дольше всех продержатся твари, имеющие крылья. В конце концов, однако, дойдет очередь и до них: курица станет цыпленком, цыпленок полезет в яйцо, которое разобьет своим хвостом великий рак. К счастью, дело никогда так далеко не заходит! Процветает еще наш мир на радость нам: начальство зорко следит за тем, чтобы рак цепей не разорвал; даже для этой песенки было бы тогда плохо дело: она с уст читателя сбежала бы в чернильницу обратно.

часто имеют в своей основе один и тот же принцип. Нередко таким принципом является почти неуловимая, но весьма плодотворная идея, приводящая ко всякого рода усовершенствованиям в области физической техники. Здесь дело обстоит так же, как и в обыденной практической жизни.

Колесо телеги представляется нам вещью в высшей степени простой и неважной. Но изобретатель его был, наверное, гением. Быть может, простая случайность заставила обратить внимание на то, как легко передвигать тяжести, пользуясь каким-нибудь валиком, например, круглым стволом дерева. И вот сделать один шаг дальше, от простого, подкладываемого под предмет валика к валику укрепленному, к колесу, очень легко. Однако же это представляется столь легким нам, с детства знакомым с колесом. Но представим себя в положении человека, который никогда не видел колеса, который должен впервые изобрести его. Мы почувствуем тогда, каких это стоило трудов. Пожалуй, нам придется усомниться в том, действительно ли это было делом одного человека, или, быть может, нужны были столетия для того, чтобы из валика образовалось первое колесо.

Тех двигателей прогресса, которые построили первое колесо, не называет никакая история, они жили задолго до исторического времени. Никакая академия не награждала их, никакое общество не выбирало их в свои почетные члены. Они продолжают жить лишь в великолепных результатах их благотворной деятельности. Отнимите у нас колесо, и едва ли многое сохранится от всей техники и индустрии нового времени. Исчезнет все: от самопрялки до прядильни с паровыми машинами, от токарного станка до прокатной машины, от простой тачки до поезда железной дороги — все сгниет.

Такое же значение имеет колесо и в науке. Вращательные аппараты, как простейшее средство вызвать быстрое движение без перемены места, играют роль во всех отделах физики. Вы знаете вращающиеся зеркала *Уитстона*, зубчатое колесо *Физо*, вращающиеся, снабженные отверстиями диски *Плато* и т. д. Все эти аппараты построены в сущности по одному и тому же принципу. Они отличаются друг от друга не больше, чем по назначению своему должны отличаться один от другого карманный нож, нож анатома или виноградарский нож. Почти то же самое можно сказать и относительно винта.

Вам уже ясно, я надеюсь, что новые идеи возникают не вдруг. И идеям нужно время, чтобы произрастать и расцвести, чтобы развить-

ся, подобно каждому существу природы: ведь человек со всем своим мышлением тоже является частью природы.

Медленно, постепенно, с трудом преобразовывается одна мысль в другую, как, по всей вероятности, совершается постепенный переход одного животного вида в другой. Много идей появляется одновременно. Они ведут свою борьбу за существование не иначе, чем ихтиозавр или лошадь.

Немногие выживают, чтобы затем быстро распространиться по всем областям знаний, снова развиваться, делиться и снова начать борьбу за свое существование. Подобно тому, как давно выродившийся животный вид, представитель какой-нибудь прошлой эпохи сохраняется в некоторых глухих местностях, где он защищен от нападения врагов, так мы находим давно изжитые, преодоленные идеи, которые продолжают жить еще в головах некоторых людей. Кто внимательно наблюдает себя, тот должен признать, что идеи столь же упорно борятся за свое существование, как и животные. Кто станет отрицать, что кое-какие преодоленные уже воззрения долго продолжают еще гнездиться в глухих уголках мозга, не решаясь выступить вперед в стройный ряд ясных идей? Какой исследователь не знает, что в процессе развития его идей ему приходится вести жесточайшую борьбу с самим собой?

С подобными же явлениями естествоиспытатель сталкивается повсюду, в вещах самых незначительных. Истый естествоиспытатель занимается наблюдением природы повсюду, даже на прогулке, даже на одной из оживленнейших улиц города. Если он не слишком ученый, он замечает, что некоторые вещи, например, дамские шляпы, подвержены изменениям. Специально я этим предметом не занимался, но одно я помню: что одна форма постепенно переходит в другую. Когда-то носили шляпы с широкими полями. И глубоко под ним скрыто было лицо красавицы, едва видное в телескоп. Но поля становились все короче и шляпа все суживалась, превращаясь в иронию над шляпой. Зато над ней стала вырастать огромная крыша, и один Господь только ведает, до каких размеров это дойдет. Дамские шляпы, что бабочки, разнообразие форм которых часто бывает основано только на том, что какой-нибудь небольшой нарост на крыльях у одного из родственных видов развивается в большую отдельную долю крыла. И природа имеет свои моды, но они существуют столетия. Я мог бы привести в доказательство этой мысли еще кое-какой пример, например, рассказать о происхождении фрака, если бы я не боялся, что моя болтовня слишком уж наскучит.

Итак, мы познакомились с одним отрывком из истории науки. Чему же он научил нас? Такая маленькая, ничтожная, можно сказать, задача, как измерение скорости света, а над решением ее пришлось работать несколько столетий! Три самых выдающихся естествоиспытателя, итальянец *Галилей*, датчанин *Ремер* и француз *Физо* честно разделили между собой этот труд. И то же самое происходит при решении бесчисленного множества других вопросов. Много цветков мысли должны увянуть, не расцветая, прежде чем расцветет один. Вдумаемся в это, и мы только тогда поймем вполне правдивые, но мало утешительные слова: «много званных, но мало избранных».

И об этом свидетельствует каждая страница истории! Но справедлива ли история? Действительно ли только те являются избранными, кого она называет? Действительно ли напрасно жили и боролись те, которые не удостоились награды.

Я готов усомниться в этом. И в этом усомнится всякий, кому знакомы мучительные мысли бессонных ночей, которые, часто оставаясь долго бесплодными, в конце концов ведут все же к цели. Ни одна мысль не была здесь напрасной, а каждая, даже самая ничтожная, даже ложная, даже самая неплодотворная, как будто расчищала путь следующей, плодотворной. Как в мышлении отдельного человека нет ничего, что было бы напрасно, так нет этого и в мышлении человечества!

Галилей хотел измерить скорость света. Ему пришлось сойти в могилу, не выполнив этого, но он, по крайней мере, нашел фонарь, с помощью которого это удалось сделать его преемнику. И я имею, поэтому, право утверждать, что все мы, если только этого хотим, работаем над делом культуры будущего. Будем, поэтому, все работать как следует, и мы все будем званные, все избранные.

Глава 6
Для чего человеку два глаза[1]

Для чего человеку два глаза?

Для того, чтобы не была нарушена прекрасная симметрия лица, — ответил бы, может быть, художник. Для того, чтобы второй глаз мог служит заменой, если будет потерян первый, — скажет экономист. Для того, чтобы мы двумя глазами могли плакать над грехами мира, — скажет ханжа. Не странно ли это? Но если бы вы обратились с этим вопросом к какому-нибудь естествоиспытателю, вы могли бы счесть за счастье, если бы вы отделались одним страхом. Извините меня, сударыня, сказал бы он строго, человек вовсе не обладает своими глазами для какой-нибудь цели; природа не человек и потому не так ординарна, чтобы заниматься преследованием каких-то целей. Но это еще ничего! Я знавал одного профессора, который с ужасом затыкал рот своим ученикам, когда они пытались ставить такой ненаучный вопрос.

Спросите еще только человека терпимого, спросите меня. Собственно говоря, я не знаю в точности, для чего у человека два глаза, но отчасти, мне кажется, и для того, чтобы я мог видеть вас здесь и беседовать с вами на эту прекрасную тему.

Вот вы снова улыбаетесь недоверчиво. Но ведь это один из тех вопросов, на который не дадут ответ и сто мудрецов, собранных вместе. Выслушав до сих пор пятерых из них, вы предпочли бы слушать остальных. Первому вы могли бы возразить, что мы были бы менее красивы, если бы выступали, как циклопы; второму вы ответили бы, что если следовать его принципу, то было бы еще лучше иметь четыре или восемь глаз и, следовательно, в этом отношении мы стоим далеко позади пауков; третьему вы ответили бы, что вы не имеете охоты плакать; четвертому вы могли бы сказать, что одно запрещение ставить вопрос скорее возбуждает, чем удовлетворяет ваше любопытство, а чтобы от меня отделаться вы можете сказать, что мое удовольствие не так важно, чтобы этим можно было оправдать существование двух глаз у всех

[1] Лекция, прочитанная в Граце в 1866 г.

людей со времен грехопадения. Но раз вы недовольны моим кратким и ясным ответом, то отвечайте сами за последствия. Вы выслушаете ответ более длинный и более основательный, насколько я могу его дать.

Но естественно-научная церковь, как мы видели, запрещает вопрос «для чего». Чтобы оставаться вполне правоверными, мы поставим, поэтому, вопрос так: человек имеет два глаза; что же может увидеть он двумя глазами, чего не увидел бы одним.

Позвольте предложить вам небольшую прогулку! Мы находимся в лесу. Что это такое, что так выгодно отличает действительный лес от нарисованного, как бы ни великолепен был бы рисунок? Что делает его в такой мере привлекательным? Живость ли красок, распределение света и тени? Не это, я думаю. Мне кажется, что, напротив, именно в этом живопись могла бы очень многое сделать.

Искусная рука художника может двумя тремя штрихами кисти набросать фигуру весьма пластичную. Еще большего можно достичь при помощи других средств. Фотографические рельефные изображения бывают настолько пластичны, что так и кажется, будто можно ощупать все возвышения и углубления. Но одного художник не сможет произвести с той живостью, какая наблюдается в природе: разницу между близким и далеким. В действительном лесу вы ясно видите, что одни деревья так близки к вам, что вы можете осязать их, тогда как другие так далеки, что вы добраться до них не можете.

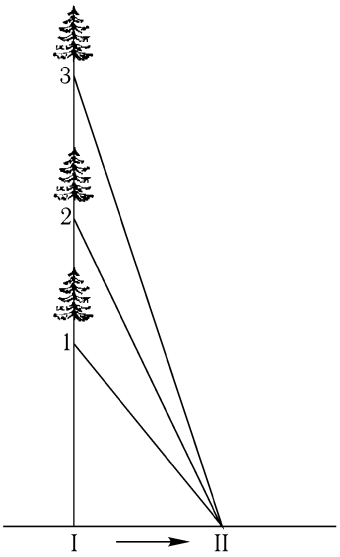


Рис. 20

Картина художника неподвижна. Картина же действительного леса изменяется при малейшем нашем движении. Вот одна ветка спряталась за другой, а вот показался ствол, который до сих пор был прикрыт другим.

Рассмотрим это явление подробнее. Ради удобства дам останемся на аллее I, II (рис. 20). Справа и слева лес. Когда мы стоим в одном месте, например, в I, то мы видим, допустим, в одном направлении три

дерева (1, 2, 3), из которых каждое, более отдаленное от нас, несколько закрыто более близким. По мере того, как мы продвигаемся вперед, дело меняется. Находясь в II, мы для того, чтобы видеть третье дерево (3), не должны настолько оборачиваться, сколько для того, чтобы увидеть второе дерево (2), а для того, чтобы увидеть это последнее, мы меньше должны оборачиваться, чем для того, чтобы увидеть первое дерево (1). Таким образом, *когда вы продвигаетесь вперед, то более близкие к вам предметы как будто более отстают, чем отдаленные, и тем больше, чем они ближе к вам.* Что же касается очень отдаленных от вас предметов, на которые, продвигаясь вперед, вам долго приходится осматриваться почти в одном и том же направлении, то они как будто двигаются вместе с вами. Так, сидя в железнодорожном вагоне, быстро несущемся по огромному полю, вам кажется, что луна двигается вслед за поездом.

Когда мы видим, что из-за холма выглядывают верхушки двух деревьев и нам неясно, какое из них ближе к нам и какое дальше, нам нетрудно это выяснить. Мы отходим несколько шагов в сторону, хотя бы вправо, и какая верхушка подвинется более влево, та и будет ближе к нам. Более того, геометр мог бы даже по величине этого отступления, вычислить расстояние, ни разу не приблизившись к самим деревьям. Ничто иное, как именно это наше наблюдение, научно разработанное, дает возможность измерять расстояние между звездами.

Итак, *на основании перемен, происходящих в открывающейся перед нами картине, когда мы передвигаемся вперед, можно измерять расстояние между предметами в нашем поле зрения.*

Строго говоря, вовсе нет необходимости передвигаться для этого вперед. Ибо каждый наблюдатель состоит собственно из двух наблюдателей. Человек имеет два глаза. Правый глаз находится правее левого. Вследствие этого изображение, получающееся от одного и того же леса в правом и левом глазу, не одинаковы, а различны. Правый глаз видит ближайшие деревья смещенными несколько влево и притом тем больше, чем они ближе. Вот этого различия достаточно, чтобы определить расстояние.

И действительно, вы легко можете убедиться в следующих фактах:

1. Когда вы смотрите одним глазом (закрыв другой), ваша оценка расстояний весьма ненадежна. Вам с трудом, например, удастся просунуть палку сквозь подставленное кольцо, а большей частью вы попадете мимо кольца.

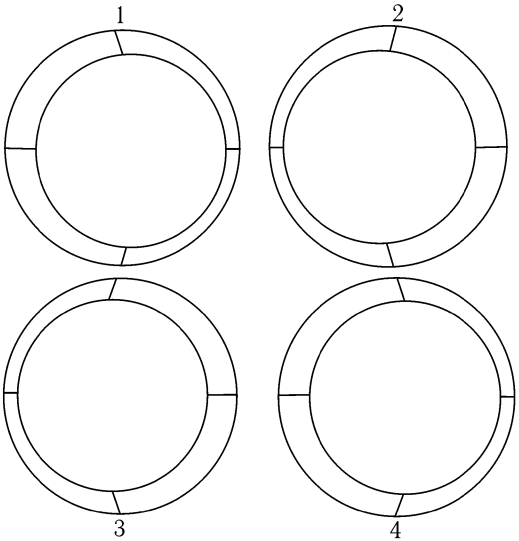


Рис. 21

2. Правым глазом вы тот же предмет видите иначе, чем левым.

Возьмите абажур от лампы и поместите его прямо перед собой на столе, широкой стороной вниз, и рассматривайте его сверху (см. рис. 21). Вы видите правым глазом изображение 2, а левым изображение 1. Если же вы поместите абажур широким отверстием вверх, то вы правым глазом увидите изображение 4, а левым глазом изображение 3. Подобными наблюдениями занимался уже *Евклид.*

3. Наконец, вы знаете, что если смотреть *обоими* глазами, то расстояние узнать нетрудно. Очевидно, следовательно, что для этого нужна совместная работа обоих глаз. В приведенном выше примере отверстия в изображениях обоих глаз кажутся нам смещенными друг относительно друга, и этого смещения достаточно, чтобы мы считали одно отверстие более близким, чем другое.

Я не сомневаюсь, сударыни, что вам приходилось уже слышать немало очень тонких комплиментов своим глазам. Одного только вам наверное никто не сказал — да и не знаю, покажется ли это вам лестным — что в ваших глазах, все равно черных ли, или голубых, сидят маленькие геометры!

Вы ничего об этом не знаете? Собственно говоря, и я об этом ничего не знаю. Но как же это может быть иначе? Хорошо ли вы знакомы с геометрией? Вы сознаетесь, что очень плохо. Но как же вы с помощью ваших глаз определяете расстояния? Ведь это же геометрическая задача! А вы умеете ее решать, ибо способны же вы оценивать расстояние. Если же вы не решаете этой задачи сами, то это, очевидно, тайно делают маленькие геометры, сидящие в ваших глазах, и потом шепотом сообщают вам решение. Не правда ли, ловкие малые!

Но что меня при этом удивляет, так это только то, что вы ничего об этом не знаете. Но, может быть, и они ничего не знают о вас? Может быть, это столь аккуратные чиновники, которые ничем более не интересуются, кроме своего бюро. Но в таком случае нам нетрудно надуть этих господ.

Покажем правому глазу изображение, имеющее вполне такой вид, каким абажур от лампы представляется правому глазу, а левому глазу покажем изображение, имеющее такой вид, каким тот же абажур представляется левому глазу. Нам кажется тогда, что мы видим перед собой абажур во всей его физической телесности.

Вам знаком этот опыт! Кто привык косить глаза, может воспроизвести его здесь же на фигуре, рассматривая правым глазом правое изображение а левым — левое. Именно таким образом этот опыт был впервые произведен *Эллиотом* в 1834 г. Усовершенствованием его является стереоскоп, изобретенный Уитстоном в 1838 г. и преобразованный Брьюстером в очень полезный и всем нам известный аппарат[1].

С помощью фотографии мы можем, сделав два снимка одной и той же местности с двух разных пунктов (соответственно левому и правому глазу), воспроизвести в стереоскопе ясное пространственное изображение далеких местностей и зданий.

Но стереоскоп делает еще больше. Он позволяет видеть вещи, которые в действительности никогда не могут быть с такой ясностью. Вам известно, что если, сидя у фотографа, вы не будете соблюдать надлежащего спокойствия, то ваш портрет будет напоминать индусское божество с несколькими головами и руками, которые в тех местах, где они кажутся наложенными друг на друга, иногда бывают видны с одинаковой отчетливостью, так что в результате можно видеть одно изображение сквозь другое. Если кто-нибудь до окончания сеанса быстро отойдет в другое место, то на снимке за ним будут видны стоящие

[1] Brewster, The Stereoscope London, 1856, стр. 18, 19, 56, 57.

за ним предметы. Человек становится прозрачным. На этом основана фотография духов.

Из этого наблюдения можно сделать весьма полезное применение. Если стереоскопически сфотографировать какую-нибудь машину, например, и во время этой операции удалять одну ее часть за другой (причем во время операции должны быть сделаны, конечно, перерывы), то можно получить фотографию прозрачной машины, в которой ясно были бы видны скрытые обыкновенно части ее, входящие одна в другую.

Вы видите, что фотография делает гигантские успехи, и нам грозит большая опасность, что явится какой-нибудь коварный фотограф, который сможет снимать своих ничего не подозревающих клиентов прозрачными, со всем тем, что они скрывают в своем сердце, со всеми тайными их помыслами. Какое спокойствие настанет тогда в государстве! Какая богатая добыча для нашей достославной полиции!

Итак, *совместным действием обоих глаз мы познаем расстояния, а потому и формы тела.* Позвольте мне потолковать о других еще относящихся сюда опытах, которые помогут нам понять некоторые явления из истории культуры.

Вы уже часто слышали и сами замечали, что более отдаленные предметы представляются в перспективе уменьшенными. В самом деле, вы легко убедитесь, что всю фигуру человека, находящегося в нескольких шагах от вас, можно закрыть одним пальцем, если держать его на небольшом расстоянии перед глазом. Однако же вы обыкновенно не замечаете этого уменьшения. Вам кажется, напротив, что человека, стоящего среди залы, вы видите таким же, каким и вблизи, непосредственно перед собой. Это потому, что глаз узнает расстояние и сообразно с этим придает далеким предметам больший размер. Глаз знает, так сказать, о перспективном уменьшении и не позволяет ему обманывать себя, даже если его обладатель ничего не знает об уменьшении. Кто пробовал рисовать с натуры, тому знакомы затруднения, которые создает эта способность глаза для восприятия перспективы. Только когда оценка расстояний становится ненадежной, когда расстояние слишком велико и исчезает масштаб для него или же когда оно слишком быстро изменяется, перспектива становится ясной.

Когда вы быстро мчитесь в поезде железной дороги и внезапно замечаете на каком-то холме несколько человек, то они часто кажутся вам маленькими куколками, потому что у вас нет масштаба для рассто-

яния. Камни при входе в туннель заметным образом увеличиваются, когда въезжаешь в него, и быстро уменьшаются, когда удаляешься от него.

Оба глаза действуют обыкновенно вместе. Так как известные виды очень часто повторяются и приводят к совершенно сходным оценкам расстояния, то глаза и приобретают определенную сноровку в их истолковании. Сноровка эта в конце концов становится столь значительна, что и один глаз уже берет на себя это истолкование.

Позвольте мне пояснить это на примере. Что может быть привычнее для вас, чем картина, открывающаяся перед вами вдоль знакомой улицы. Кто не смотрел обоим глазами, полный ожидания, вдоль нее, стараясь измерить ее глубину? Но вот вы приходите на художественную выставку и находите картину, изображающую такую улицу. Художник не пожалел линейки для того, чтобы сделать правильную перспективу. Геометр в вашем левом глазу думает: о, это я уже высчитывал сотни раз, здесь я знаю отношения между разностями наизусть. Это улица, — говорит он, — там, где дома становятся ниже, ее более отдаленный конец. Геометр правого глаза слишком ленив, чтобы наводить справки у своего, быть может, несколько ворчливого коллеги, и потому говорит то же самое. Но вдруг в этих исправных служаках снова пробуждается чувство долга, они производят вычисление и находят, что все точки картины находятся от них на равном расстоянии, т. е. что они нарисованы на одном полотне.

Чему вы теперь будете верить? Тому, что глаза говорили в первый раз, или тому, что они сказали во второй раз? Если вы поверите первому их заключению, то ясно увидите улицу; если же второму, — то вы не увидите ничего, кроме полотна, на котором нарисованы какие-то неправильные изображения.

Вам кажется пустяком рассмотреть картину и уловить его перспективу. И однако же прошли тысячелетия, прежде чем человечество научилось этому пустяку, да и многие из вас дошли до этого лишь под влиянием воспитания.

Я хорошо помню, что в возрасте около трех лет все рисунки, в которых соблюдается перспектива, казались мне искаженными изображениями предметов. Я не мог понять, почему живописец изобразил стол на одной стороне таким узким, а на другой — таким широким. Действительный стол кажется мне на дальнем конце столь же широким, как и на ближнем, так как мой глаз производит свои вычисления без моего со-

действия. Что на изображение стола на плоскости нельзя смотреть, как на покрытую красками плоскость, что оно означает стол и должно быть представлено продолжающимся вглубь, — это был пустяк, которого я не понимал.

Есть наивные люди, которые убийство на сцене принимают за настоящее убийство и всякое мнимое действие считают реальным действием; они готовы возмущаться и спешить на помощь, когда видят в пьесе людей притесняемых. Некоторые же, напротив, не могут забыть, что деревья на сцене — только декорации, что Ричард III — это актер М., которого они уже не раз встречали в обществе. Обе ошибки одинаково велики.

Для того чтобы иметь правильный взгляд на драму и на картину, нужно знать, что та и другая — не действительность, но означают и кое-что действительное. Для этого требуется, чтобы внутренняя духовная жизнь преобладала до известной степени над жизнью чувств, чтобы первая не уничтожалась непосредственным впечатлением. Для этого требуется известная свобода в определении своей точки зрения, известный юмор, сказал бы я, которого совсем нет у ребенка и у народов молодых.

Рассмотрим несколько исторических фактов. Мои исследования не будут очень уж основательными, я не начну с каменного века, хотя и от этой эпохи у нас сохранились рисунки, весьма оригинальные в перспективе.

Обратимся лучше к гробницам и развалинам храмов древних египтян. Бесчисленные рельефы их и великолепные краски сохранились на протяжении тысячелетий. Перед нашими глазами вырисовывается здесь красивая и разнообразная жизнь. Мы находим египтян во всех положениях и условиях жизни. Что сразу же бросается в глаз — это изящество художественной техники. Контуры в высшей степени нежны и тонки. Но рядом с ними мы находим несколько грубо-ярких красок, без всякой смеси и перехода. Тени отсутствует совершенно. Плоскости закрашены равномерно.

Ужасающую для современного глаза картину являет перспектива. Все фигуры одинаково велики за исключением царя, который изображен в несоразмерно увеличенном виде. Близкое и далекое — равной величины. Уменьшения, требуемого перспективой, нет нигде. Пруд с водяными птицами изображается в вертикальной плоскости так, как будто поверхность воды и в действительности вертикальна.

Человеческие фигуры переданы так, как их никогда нельзя видеть. Ноги видны сбоку, лицо в профиль, грудь же во всю ширину плоскости рисунка. Голову быка рисовали в профиль, между тем как рога опять же в плоскости рисунка. Принцип, которому следовали египтяне, быть может, лучше всего был бы передан, если бы мы сказали, что фигуры накладывались на плоскость рисунка, как засушенные цветы в гербарий.

Дело объясняется просто. Так как египтяне привыкли рассматривать вещи без предвзятости обоими глазами, то им не могло быть привычно перенесение в пространство перспективного рисунка. Они видели руки, ноги у действительных людей в натуральную величину. Фигуры, наложенные на плоскость, были в их глазах более похожи на оригиналы, чем рисунки с перспективой.

Это становится еще понятнее, если принять во внимание, что живопись возникла из рельефа. Небольшие несходства между придавленными рисунками и оригиналами не могли все же не привести мало-по-малу к перспективному рисунку. Физиологически же египетская живопись имеет столько же оснований, как и рисунки наших детей.

Небольшой шаг вперед, по сравнению с египтянами, мы находим у ассирийцев. Рельефы, найденные при раскопках холмов Нимрода у Моссула, в общем сходны с египетскими. Знакомством с ними мы обязаны преимущественно *Layard'y*.

В новую фазу своего развития живопись вступает у китайцев. Здесь мы находим уже ясно выраженное чувство перспективы и правильных теней, хотя встречаются еще и ошибки. И в этой области китайцы сделали, по-видимому, только начало, но не пошл далеко вперед. Этому соответствует и язык их, который, как язык детей, не развился еще до той стадии, на которой появляется грамматика или скорее, согласно современному воззрению, не пал еще до такой степени, чтобы иметь грамматику. Этому соответствует и состояние их музыки, которая удовлетворяется пятизвучной гаммой.

Стенная живопись Геркуланума и Помпеи обнаруживает наряду с изяществом рисунка ясно выраженное чувство перспективы и правильного освещения, но она очень неосторожна в конструкции. И здесь уменьшения еще избегаются и члены иногда ставятся в неестественное положение, в котором они являются во всей своей величине. Уменьшения чаще заметны на одетых, чем на неодетых фигурах.

К пониманию этих явлений я пришел впервые благодаря нескольким простым экспериментам, которые показывают, как различно, в за-

висимости от произвольной точки зрения, может смотреть человек на один и тот же предмет, если только он приобрел некоторую власть над своими чувствами.

Рассмотрим прилагаемый здесь рисунок (см. рис. 22). Он может представлять собой согнутый лист бумаги, обращенный к вам своей внутренней (вогнутой) или внешней (выпуклой) стороной. Этот рисунок вам может представляться и тем, и другим, и в обоих случаях он будет казаться неодинаковым.

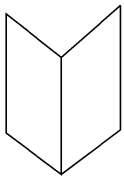


Рис. 22

Если вы, действительно, поставите перед собой на стол лист бумаги так, чтобы он обращен был к вам острым ребром, то, смотря на него одним глазом, вы можете видеть его то выпуклым, то вогнутым. При этом обнаруживается замечательное явление. Когда вы видите лист в том положении, в котором он действительно находится, ни освещение, ни форма его не представляют собой ничего особенного. Когда же он представляется перегнутым в другую сторону, вы замечаете неправильную перспективу, свет и тени кажутся несравненно ярче и темнее, как будто на бумаге густо наложены краски. Свет и тени оказываются ничем не обусловлены в своем распределении: они уже не соответствуют форме тела и скорее бросаются в глаза.

В повседневной жизни мы пользуемся перспективой и освещением видимых предметов, чтобы узнать их форму и положение. Вследствие этого мы не замечаем света, теней и искажения фигур. Рассматривая плоское изображение в камере Обскура, вы поразитесь силе света и густоте тени, которые вы на действительных предметах едва замечаете.

В самой ранней моей юности все тени и светлые места на картинах казались мне ненужными пятнами. Когда я начал учиться рисовать, я считал наведение теней простым обычаем. Я срисовал однажды пастора, друга нашего дома, и заштриховал половину лица совсем черной. Сделал я это не потому, чтобы я чувствовал в этом потребность, а потому, что видел это на других портретах. За это я подвергся жесточайшей критике со стороны своей матери, и моей глубоко оскорбленной гордости художника я обязан тем, что эти факты так сохранились в моей памяти.

Из всего этого вы видите, что не только в жизни отдельного человека, но и в жизни человечества, в истории культуры немало вещей объясняется тем фактом, что у человека два глаза.

Измените глаз человека и вы измените его мировоззрение. Поставить ближайших наших родственников — египтян, китайцев и жителей свайных построек, мы не оставим без внимания и более отдаленных наших родственников, обезьян и других животных. Сколь иной должна казаться природа животным, глаза которых устроены совсем иначе, чем у людей, насекомым, например. Но покуда науке приходится отказаться от мысли дать об этом какое-нибудь представление, так как мы слишком мало еще знакомы с тем, как функционируют эти органы. Загадка для нас уже то, какой представляется природа животным, близким человеку, как, например, птицам, которые ни одной почти вещи не видят одновременно обоим глазами, а для каждого имеют особое поле зрения, так как глаза помещены по обеим сторонам головы.

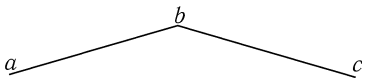


Рис. 23

Душа человеческая замкнута в своем доме, в голове. Она смотрит на природу сквозь два окошечка — глаза. Хотелось бы ей так же знать, какой представляется природа через другие окна. Это кажется недостижимым. Но любовь к природе изобретательна. В этом отношении кое-что уже достигнуто. Поставив перед собой зеркало, состоящее из двух плоских зеркал, образующих большой тупой угол, я вижу свое лицо дважды. В правом зеркале я вижу отражение правой стороны моего лица, а в левом — левой. Так, если передо мной стоит человек, то я правым глазом вижу лицо его больше справа, а левым больше слева. Но для того, чтобы я видел это лицо в двух столь различных видах, как в нашем зеркале, мои глаза должны были бы быть удалены друг от друга гораздо больше, чем это есть в действительности. Когда же я правый глаз скашиваю на правое зеркало, а левый — на изображение в левом зеркале, то я похож на великана с огромной головой и далеко отстоящими друг от друга глазами. Этому соответствует впечатление, которое производит на меня мое лицо. Я вижу его тогда единым и телесным. При более продолжительном наблюдении рельеф от секунды к секунде вырастает, брови нависают над глазами, нос вырастает как будто в длину сапога, усы отходят от губ наподобие фонтана, а зубы отстоят очень далеко от губ. Но самым страшным представляется нос. Я собираюсь взять привилегию на этот простой аппарат и рекомендовать его испанскому правительству для употребления в канцеляриях.

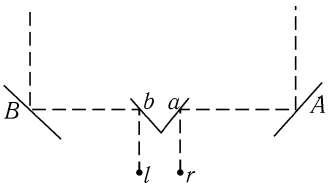


Рис. 24

Интересен в этом направлении аппарат, предложенный Гельмгольцем, телестереоскоп. Рассматривают какую-нибудь местность, смотря через посредство зеркала a в зеркало A и левым глазом через посредство зеркала b в зеркало B. Зеркала A и B отстоят далеко друг от друга. И здесь мы видим далеко отстоящими друг от друга глазами великана. Все представляется в уменьшенном виде и ближе. Дальние горы кажутся покрытыми мхом камнями, лежащими у ваших ног. Между ними вы находите уменьшенную модель города, поистине лилипут. Вы могли бы наложить руку на этот лес и на город, если бы не боялись, что вас уколют острые иголки, шпили колоколен, или что они с треском сломаются. Лилипуты — не сказка, нужно только смотреть глазами Свифта, т. е. в телестереоскоп, чтобы их увидеть.

Представьте теперь обратный случай! Представим себе, что мы так малы, что можем прогуливаться в лесу из мха и наши глаза соответственным образом сближены между собой. Мох казался бы нам большими деревьями. По этим деревьям лазили бы огромные, причудливых форм, никогда неведомые звери. Ветки же дуба, у подножья которого расстилается этот лес, в котором мы гуляем, казались бы неподвижными, темными, ветвистыми облаками, стоящими высоко в небе, так как, например, жителям Сатурна представляется, вероятно, кольцо Сатурна. На деревьях нашего леса мы заметили бы большие, блестящие и прозрачные шары в несколько футов в диаметре, медленно покачивающиеся от ветра. Побуждаемые любопытством, мы приближаемся к ним и замечаем, что эти шары, внутри которых бегают какие-то животные, состоят из жидкости, что это — вода. Еще одно неосторожное прикосновение и — о ужас! — какая-то неведомая сила влечет мою руку вовнутрь шара и удерживает меня там! Это капля росы поглотила по законам капиллярности человечка в отместку за то, что человек так много капель проглатывает за завтраком. Ты должен был бы знать, ты, маленький естествоиспытатель, что при тех ничтожных размерах, какие ты теперь имеешь, нельзя шутить с капиллярностью.

Ужас этого положения заставляет меня опомниться. Я слишком, слишком увлекся своей идиллией. Простите, пожалуйста! Кусочек дерна, лес мху или вереска с их крошечным населением представляет для меня куда больший интерес, чем некоторые литературные произведе-

ния с их обожествлением человека. Будь у меня талант и я писал бы повести, то в них, наверное, действующими лицами были бы не Ганс и Гретхен. Я не перенес бы также своей парочки и в страну Нила, времен фараонов, хотя все же предпочел бы это время нашему. Я должен откровенно сознаться, что я ненавижу исторический хлам, как бы он не был интересен сам по себе, как явление, потому что его нельзя только наблюдать, а его нужно еще и чувствовать, потому что он нагло заявляет о себе, неодоленный, неизжитый.

Героем моей повести был бы майский жук, который на пятом году своей жизни, когда у него вырастают новые крылья, впервые свободно поднимается ввысь. Право было бы не вредно, если бы человек, чтобы побороть свою ограниченность, прирожденную и привитую воспитанием, попытался ознакомиться с миросозерцанием родственных ему существ. Он научился бы гораздо большему, чем обыватель какого-нибудь захолустья, который, отправившись в кругосветное путешествие, ознакомился с воззрениями других народов.

Я водил вас по различным дорогам и тропинкам, чтобы показать вам, куда можно придти, если последовательно прослеживать какой нибудь естественно-научный факт. Точное изучение обоих глаз человека не только привело нас к детству человечества, но заставило даже перейти от человека к животным.

Вам часто, вероятно, приходилось уже слышать, что науки делятся на две части — на гуманитарные и естественные науки; первые требуются так называемым «высшим образованием» и резко противополагаются вторым.

Я должен сознаться, что я не верю в это деление наук. Мне кажется, что в более зрелую эпоху такой взгляд будет считаться столь же наивным, какой нам кажется не знающая перспективы египетская живопись. Неужели в самом деле «высшее образование» можно почерпнуть из нескольких старых пергаментов и горшков, составляющих лишь ничтожную частицу природы? Неужели они одни могут научить нас большему, чем вся остальная природа? На мой взгляд и те и другие науки являются лишь частями одной и той же науки, только начатыми с разных концов. Если же оба эти конца еще напоминают в своих взаимных отношениях *Монтеки* и *Капулетти*, если даже их слуги продолжают еще драться между собой, то, мне кажется, они только показывают вид, что не могут примириться. Есть уже Ромео у одних и Джульета у других, которые

соединяют оба дома и, будем надеяться, с менее трагическим исходом.

Филология начала с безусловного поклонения грекам. Теперь же она распространяет свои изыскания уже на другие языки и начинает заниматься другими народами и их историей. Через посредство сравнительного языкознания она заключает уже, хотя и осторожно, союз с филологией.

Естествознание начало с занятий колдовством. Теперь же оно охватывает всю органическую и неорганическую природу, а через физиологию языка,через теорию органов чувств, оно забирается, хотя и несколько нескромно, в область духовной жизни.

Коротко говоря, мы учимся кое-что понимать в нас самих, обращаясь взглядом к внешнему миру, и наоборот. Каждый объект составляет объект изучения и тех и других наук. Вот вы, сударыни, представляете весьма интересные, без сомнения, и трудные проблемы для психолога. Но вы — и явления природы, очень милые. Церковь и государство суть объекты изучения историка, но также и явления природы и притом в некоторых частях довольно оригинальные явления.

Если исторические науки расширяют наш кругозор, знакомя нас с воззрениями различных народов, то в еще большей мере это в известном смысле делают естественные науки. Заставляя человека исчезнуть, потонуть во всеобъемлющем целом природы, они заставляют встать его на объективную точку зрения, центр которой был бы вне его, заставляют его измерять вещи другим, но не маленьким человеческим масштабом.

Но если бы вы меня теперь спросили, для чего же человеку два глаза, я должен был бы дать такой ответ:

Для того, чтобы он мог наблюдать, как следует, природу, для того, чтобы он научился понимать, что он сам со своими правильными взглядами, со своей haute politique, является лишь преходящим явлением природы, что он, говоря словам Мефистофеля, есть часть части и что совершенно неосновательно,

Wenn sich der Mensch, die kleine Narrenwelt
Gewöhnlich für ein Ganzes hält.[1] (Faust)

[1] «Когда вы мирок нелепый свой
Считаете за все, за центр всего творения!» (перевод Холодковского).

Глава 7

Симметрия[1]

Один древний философ как-то сказал, что люди, ломающие голову над природой земли, представляются ему похожими на тех, которые рассуждают о порядках и устройстве далекого города, о котором они едва ли слышали что-либо, кроме имени. Истинный философ, утверждал он, должен обращаться своим взором внутрь себя, он должен изучать себя и свои понятия о нравственности. Это принесет ему действительную пользу. Этот старый рецепт стать счастливым может быть переведен на язык немецких филистеров следующим образом: сиди на месте и добывай свое пропитание честным трудом.

Если бы этот философ мог воскреснуть и опять странствовать среди нас, он был бы поражен, заметив, что теперь дела обстоят совсем не так, как он того хотел.

Движения луны и других небесных тел нам известны в точности. Знания же о движениях нашего собственного тела еще далеко не так совершенны. Отдельные местности и горы луны нанесены на точные карты. Физиологи же только еще начинают ориентироваться среди отдельных участков нашего мозга. Химические свойства многих неподвижных звезд уже исследованы. Химические же явления в теле животного представляют собой вопросы гораздо более сложные и трудные. Mecanique celeste мы уже имеем. Mecanique sociale или Mecanique morale, которые отличались бы такой же четкостью, еще нужно написать.

В самом деле, наш философ сознался бы, что мы, люди, сделали успехи. Но мы не следовали его рецепту. Пациент выздоровел, но он делал прямо противоположное тому, что предписывал ему доктор.

Из путешествия по мировому пространству, которого он им не советовал предпринимать, люди вернулись умнее. Познакомившись там, далеко, с простыми отношениями крупных величин, они начали отправлять свой критический взор на свое маленькое беспокойное Я. Несколько странно звучит, а между тем правда, что от размышлений о луне

[1] Лекция, прочитанная в немецком казино в Праге зимой 1871 г.

мы можем перейти к психологии. Мы должны были получить простые и ясные идеи, а эти идеи дала нам главным образом астрономия.

Было бы дерзостью браться здесь за описание того могучего научного движения, которое, начавшись в науках естественных, докатилось до психологии. Я позволю себе только показать вам на нескольких простейших примерах, как, исходя из опыта физического мира, можно добраться до психологии и притом прежде всего до ближайшего ее отдела, до учения о чувственном восприятии. Не может также мое изложение служить масштабом для современного состояния научных вопросов.

Дело общеизвестное: одни вещи нам нравятся, другие — нет. В общем работа по определенному, последовательно проведенному правилу дает всегда что-нибудь довольно сносное. Поэтому мы и в самой природе, которая всегда действует по определенно установленным правилам, находим множество таких вещей, которые нам нравятся. Физики в своей лаборатории каждый день наблюдают прекрасные фигуры колебаний, так называемые хладниевы фигуры, явления поляризации, фигуры, обязанные своим происхождением преломлению света и т. д.

Всякое правило предполагает повторение. Отсюда ясно, что в возбуждении приятного впечатления повторение играет известную роль. Само собою разумеется, что этим не исчерпывается еще сущность приятного. К тому же повторение какого-нибудь физического процесса только тогда может стать источником чувства приятного, когда оно связано с повторением ощущений.

Доказательства тому, что повторение ощущения может быть приятно, можно найти в изобилии в тетради чистописания любого школьника. Всякая фигура — как бы она ни была некрасива в отдельности — будучи повторена несколько раз и размещена в ряд, образует всегда недурной орнамент.

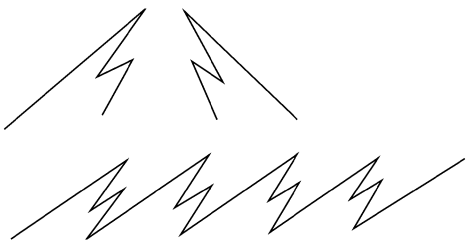


Рис. 25

Приятное впечатление, которое вызывает симметрия, тоже основано на повторении ощущений. Остановимся на короткое время на этой мысли, не думая, однако, исчерпать этим сущность приятного или, тем более, прекрасного во всей ее полноте.

Составим же прежде всего себе более ясное представление о симметрии. Но для этого я предпочитаю живой образ какому-нибудь определению. Вы знаете, что зеркальное изображение какого-нибудь предмета имеет общее сходство с предметом самим. Все отношения формы и величины остаются теми же. И тем не менее между предметом и его изображением в зеркале существует и известное различие.

Поднесите правую вашу руку к зеркалу и вы увидите в нем левую руку. Перчатка с правой руки образует с своим отражением в зеркале пару; перчатку, которую вы видите в зеркале, вы могли бы надеть, будь она вам предложена телесно, не на правую, а только на левую руку. Точно так же правое ваше ухо, отразившись в зеркале, представляется левым. Принимая все это в соображение, вы легко приходите к тому выводу, что вообще вся левая половина вашего тела может рассматриваться, как зеркальное изображение правой.

Но на место отсутствующего правого уха вы никогда не можете поместить левое, ибо для этого пришлось бы нижнюю часть уха обратить вверх, или отверстие ушной раковины повернуть назад. Точно так же и зеркальное изображение какого нибудь предмета не может заменить самого предмета, несмотря на все их равенство форм.

Причина этого различая между предметом и его изображением в зеркале довольно простая. Изображение находится как будто на таком же расстоянии за зеркалом, на котором предмет находится впереди зеркала. Поэтому выдающиеся части предмета находятся несколько ближе других к зеркалу и в отражении представляются выдвинутыми по направлению к плоскости зеркала. Но благодаря этому порядок и размещение частей оказываются обратными, как это лучше видно на отражении часового циферблата или какой-нибудь рукописи.

Легко заметить, что если соединить прямой линией какую-нибудь точку предмета с соответствующей точкой изображения его в зеркале, то эта линия будет перпендикулярна зеркалу и будет делиться его плоскостью на два равных отрезка. Это относится ко всем точкам предмета и его отображения.

Если какой-либо предмет может быть разделен плоскостью на две половины так, чтобы одна из них могла быть отражением другой в раз-

деляющей их плоскости, то этот предмет называют симметричным, а упомянутую плоскость деления — плоскостью симметрии.

Если плоскость симметрии вертикальна, то говорят, что тело обладает вертикальной симметрией. Примером может служить готический собор.

Если плоскость симметрии горизонтальна, то данный пример можно назвать горизонтально-симметричным. Ландшафт на берегу озера и его отражение в озере представляют собой систему горизонтальной симметрии.

Здесь сейчас же обнаруживается замечательная разница. Вертикальная симметрия готического собора сразу бросается в глаза, между тем как мы можем ехать вверх или вниз по Рейну, не замечая симметрии между предметами и их отражениями в воде. Вертикальная симметрия нравится нам, тогда как симметрия, горизонтальная для нас, безразлична и может быть замечена только опытным глазом.

Отчего происходит такое различие? Я думаю, что от того, что вертикальной симметрией обусловленно повторение одного и того же ощущения, а горизонтальной — нет. Что это так, я сейчас постараюсь доказать.

Рассмотрим следующие буквы:

$$d,\ b,$$
$$q,\ p.$$

Матерям и учителям хорошо известен тот факт, что когда дети только еще начинают учиться читать и писать, они постоянно путают d и b, и q и p, но никогда не путают d и q или b и p. Но d и b, как и q и p, суть две половины вертикально-симметричной фигуры, тогда как d и q, как и b и p, суть две половины горизонтально-симметричной фигуры. Первые смешиваются, а смешиваются обыкновенно такие вещи, которые возбуждают одинаковые или сходные ощущения.

Среди фигур, служащих для украшения сада или салона, часто встречаются фигуры цветочниц, из которых одна держит корзину с цветами в павой руке, а другая в левой. Если вы недостаточно внимательны, вы постоянно будете смешивать эти две фигуры.

Перемещение справа налево большей частью совсем не замечается. Не так безразлично глаз относится к перемещению сверху вниз. Перевернутое сверху вниз человеческое лицо уже с трудом может быть узнано и имеет в себе что-то в высшей мере чуждое. Это происходит не

только от непривычного вида, но и потому что столь же трудно узнать перевернутую арабеску, а в этом случае привычка не имеет значения. На этом основаны известные шутки с портретом несимпатичных личностей. Их рисуют так, что при прямом положении мы видим верное изображение лица, перевернув же портрет, узнаем одно из распространенных животных.

Итак, мы установили тот факт, что обе половины вертикально-симметричной фигуры очень легко смешать и что они, по всей вероятности, обуславливают в высшей степени сходные ощущения. Ответ на него следующий: потому что наш зрительный аппарат, состоящий из двух глаз, сам является вертикально-симметричным.

Как ни похож по внешности один глаз на другой, все же они не одинаковы. Правый глаз человека не может стать на место левого, как мы не можем заменить правое ухо левым или правую руку левой. Искусственно можно один глаз заставить выполнять роль другого и мы тогда очутимся в новом, незнакомом нам мире. Все выпуклое кажется нам тогда вогнутым, а все вогнутое — выпуклым, далекое — близким, близкое — далеким и т. д.

Левый глаз — это отражение правого. Светочувствительная сетчатая оболочка левого глаза во всех своих частях по устройству своему является зеркальным отражением оболочки правого глаза.

Хрусталик глаза, подобно волшебному фонарю, отбрасывает изображение предмета на сетчатую оболочку. Эту оболочку с ее многочисленными нервами вы можете представить себе в виде руки с огромным числом пальцев, предназначенных для того, чтобы осязать световой образ. Нервные окончания различны, как и пальцы. Обе сетчатые оболочки играют роль правой и левой осязающей руки.

Вообразите себе правую половину буквы Т, т. е. Г. Вместо двух сетчатых оболочек, на которых отпечатывается этот образ, представьте себе мои руки, ощупывающие эту фигуру. Когда мы прикасаемся к ней правой рукой, мы получаем другое ощущение, чем при прикосновении к ней левой рукой, потому что имеют здесь известное значение и места руки, которыми мы дотрагиваемся до фигуры. Если же мы повернем фигуру справа налево, то ощущение, которое раньше получалось в правой руке, будет получаться в левой. Ощущение повторяется.

Если возьмем всю фигуру Т, то правая половина вызовет в правой руке то же самое ощущение, что и левая половина в левой.

Симметричная вызывает дважды одно и то же ощущение.

Если я переверну букву Т так: ⊢ или же возьму половину Г, перевернутую верхней своей частью вниз, т. е. L, то пока положение моих рук не изменится существенным образом, я не могу повторить предыдущих наблюдений.

Сетчатые оболочки действительно сильно напоминают обе мои руки. И у них есть как бы большие пальцы, исчисляющиеся, правда, тысячами, и указательные пальцы, опять таки в числе нескольких тысяч, — большие пальцы, положим, ближе к носу, а остальные к внешней стороне.

Надеюсь, вам теперь совершенно ясно, почему приятное впечатление, обуславливаемое симметрией, основывается на повторении ощущений, и как это впечатление имеет место только в тех случаях, когда бывает повторение ощущений. Этим же объясняется и приятное чувство, вызываемое видом правильных фигур, предпочтение, оказываемое нами прямой линии, и особенно вертикальной или горизонтальной, перед всякими другими. Прямая линия в горизонтальном и вертикальном положении может вызвать на сетчатой оболочке обоих глаз одинаковое изображение, которое к тому же попадает на симметричные друг другу места. На этом основано, вероятно, и психологическое предпочтение прямой линии перед кривой, а вовсе не на свойстве прямой быть кратчайшим расстоянием между двумя точками. Прямая линия, одним словом, ощущается, как симметричная сама себе. То же нужно сказать и о плоскости. Кривую мы воспринимаем как отклонение от прямой, как отклонение от симметрии[1]. Если же и люди, от рождения слепые на один глаз, обладают известным чувством симметрии, то это, конечно, загадка. Правда, оптическое чувство симметрии хотя и приобретается в первую очередь путем зрения, не остается ограниченным только одними глазами. По всей вероятности, тысячелетний опыт человечества привлечь к тому, что это чувство стало не чуждо и другим частям организма и потому не может сразу исчезнуть с потерей одного глаза.

Но в целом все это обуславливается, как кажется, особым устройством наших глаз. Легко понять, что наши представления о красивом и

[1] То обстоятельство, что первое и второе частное производное какой-нибудь кривой мы видим непосредственно, но высших не видим, объясняется весьма просто. Первое выражает положение касательной, отклонение прямой от положения симметрии, а второе выражает отклонение кривой от прямой. Будет, пожалуй, не бесполезно здесь же заметить, что в нашем обыкновенном испытании линейки и плоских пластин (накладыванием в обратном порядке) мы в действительности устанавливаем, насколько велико отклонение данного предмета от симметрии к себе самому.

некрасивом должны были бы измениться, как только наши глаза стали бы иными. Если все наше рассуждение справедливо, то начинает возбуждать сомнение так называемое вечно прекрасное. Трудно тогда поверить, чтобы культура, накладывающая на тело человека свой неоспоримый отпечаток, не изменяла и представлений его о прекрасном. Приходилось же когда-то всему музыкально-прекрасному развиваться в тесных рамках пятизвучной гаммы.

Явление это — что повторение ощущений приятно — не ограничивается одной областью видимого. И музыкант и физик знают в настоящее время, что гармоническое или мелодическое присоединение одного звука к другому лишь тогда приятно, когда новый звук воспроизводит часть ощущения, вызванного предыдущим звуком. Когда я к основному тону присоединяю октаву, то я в октаве слышу часть того, что я слышал в основном тоне. Подробно останавливаться на этом не входит в мои намерения. Ограничимся на сегодня только решением вопроса, существует ли в мире звуков нечто, подобное симметрии фигур.

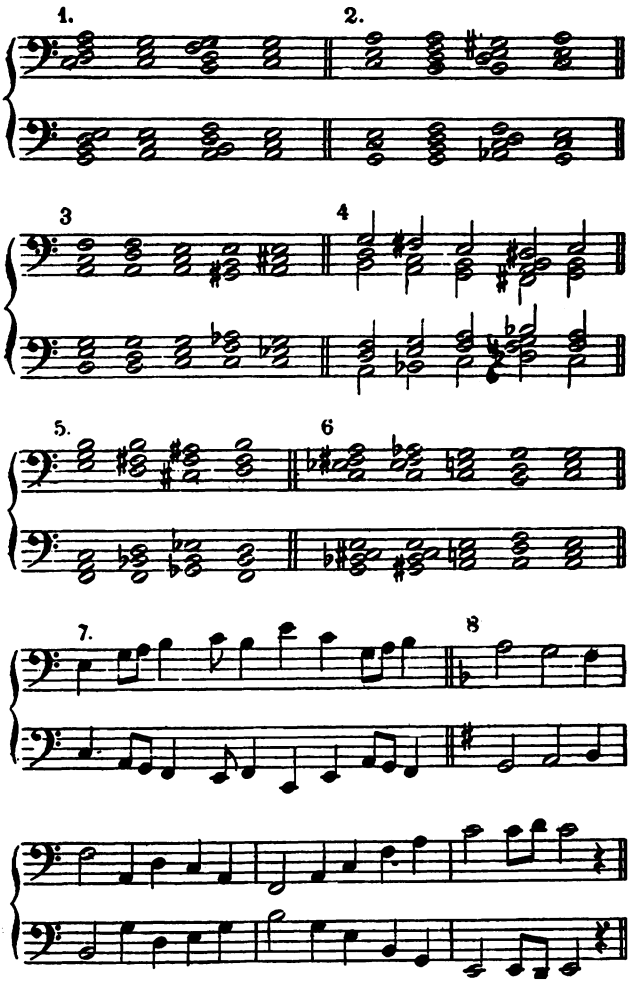
Посмотрите на отражение пианино в зеркале. Вы легко заметите, что такого пианино вам в действительности видеть не приходилось: высокие тона его находятся слева, а низкие справа. Таких пианино не делают.

Если бы вы подошли к такому зеркальному пианино, т. е. устроенному так, как отражение обыкновенного пианино в зеркале, и захотели на нем поиграть так, как вы это обыкновенно делаете, то вышло бы, очевидно, следующее: желая взять одной или двумя нотами выше, вы в действительности брали бы такими же нотами ниже. Эффект получился бы довольно неожиданный.

Для опытного музыканта, привыкшего при надавливании определенных клавиш слышать и определенные тона, представляется уж очень странно наблюдать в зеркале человека, играющего на пианино: ему представляется, что тот делает обратное тому, что слышится.

Еще замечательнее был бы эффект, если бы вы попытались воспроизвести на зеркальном пианино целую гармонию. В случае мелодии небезразлично, возьму ли я нотой выше или ниже. В случае гармонии это такой огромной разницы не составляет. Я получаю одинаковое созвучие, присоединяю ли к основному тону верхнюю или нижнюю терцию. Становится только обратным порядок интервалов гармонии.

Действительно, если на зеркальном пианино сделаем ход на Dur, мы услышим звук на Moll, и наоборот.



Вопрос теперь в том, как описанные эксперименты выполнить. Вместо того чтобы играть на пианино, отраженном в зеркале (что невозможно), или вместо того чтобы заказать себе такое пианино (что стоило бы слишком дорого), мы можем произвести свои опыты проще, если поступим следующим образом:

1. Мы играем на обыкновенном нашем пианино, смотря в зеркало, и затем на нем же играем то, что мы видели в зеркале. Все более высокие ноты превращаются тогда в таких же размеров более низкие ноты. Мы играем тогда одну фразу и вслед за ней другую, симметричную первой на клавиатуре.

2. Поместите рядом с нотами зеркало, в котором ноты отражаются, мы играем, смотря на это отражение. Результат получается тот же, что и в предыдущем случае.

3. Мы переворачиваем ноты и читаем их справа налево и снизу вверх. При этом мы все диезы считаем за бемоли и наоборот. Кроме того, мы можем пользоваться здесь только базовым ключем, потому что только при нем интервалы не изменяются при симметричной перестановке (см. рис.).

В прилагаемых нотах изображены примеры, рисующие эффект этих опытов. В верхней строке приведена одна фраза, а в нижней — фраза, симметрично к ней перевернутая.

Результат наших опытов таков. Мелодия становится неузнаваемой, гармония переделывается из Dur в Moll или наоборот.

Этот интересный факт был давно известен физикам и музыкантам, но в новейшее время изучению его дал известный толчок своей работой *Эттинген.*

Во всех приведенных выше примерах все верхние ноты были превращены в нижние равных размеров, так что я вправе сказать, что каждой фразе соответствует симметричная ей фраза. Тем не менее ухо не замечает никакой симметрии или, по крайней мере, очень мало. Единственный намек на симметрию, который остается, это обращение Dur в Moll. Симметрия существует здесь для ума, но не существует для ощущения. Для уха нет симметрии, потому что обратный порядок не приводит к повторению ощущений. Будь у нас одно ухо для восприятия повышения, а другое для восприятия понижения, как у нас есть один глаз для восприятия левого, а другой для правого, то существовали бы тогда симметричные пьесы. Противоположность Dur — Moll у уха соответствует противоположности верхнего и нижнего у глаза, а в этом последнем случае симметрия тоже существует для ума, но не ощущается, как таковая.

Для полноты целого я хотел бы прибавить еще одно краткое замечание для части моих уважаемых слушателей, сведущих в математике.

Наше нотное письмо есть в сущности графическое изображение музыкального произведения в форме кривых, причем время нанесено на абсцисс, а логарифм числа колебаний на ординат. Отклонения нотного письма от этого принципа или таковы, что они облегчают обзор, или имеют какое-нибудь историческое основание.

Следует еще заметить следующее: ощущение высоты тона пропорционально логарифму числа колебаний, а расстояния между клавишами соответствуют разностям логарифмов чисел колебаний. На этом основании можно сказать, что читаемые в зеркале гармонии и мелодии в известном смысле симметричны к своим оригиналам.

Излагая вам эти крайне отрывочные соображения, я хотел только дать вам почувствовать, что успехи естественных наук не остались безрезультатными в тех частях психологии, которые не отвернулись от них с пренебрежением, а вступили в известную связь. Зато и психология, как бы отдавая естественным наукам дань благодарности, начинает в свою очередь оказывать им поддержку.

Те теории физики, которые сводят все явления к движению и равновесию мельчайших частиц, т. е. так называемые молекулярные теории, благодаря успехам теории чувств и пространства, уже начинают колебаться и можно сказать, что дни их сочтены.

Я попытался показать в другом месте, что ряд тонов есть ничто иное, как род пространства, но одного только и притом одностороннего измерения. И вот, если бы кто-нибудь, который только слышал бы, захотел развить себе мировоззрение в этом своем линейном пространстве, он много потерял бы, ибо его пространство оказалось бы слишком недостаточным для того, чтобы вместить все разнообразие действительных отношений. Но столь же неосновательно думать, будто весь мир, даже и не доступный нашему зрению, может быть сжат в пространство, каким его знает глаз. А именно в таком положении находятся все молекулярные теории. Мы обладаем одним органом, более богатым, если судить по многосторонности отношений, которые он может охватить, чем все другие. Это наш разум. Этот орган стоит над нашими чувствами. Только он один в состоянии обосновать точное и достаточное мировоззрение. Механическое мировоззрение сделало со времен *Галилея* огромные успехи и совершило многое. Тем не менее ему придется в настоящее время уступить свое место взгляду более свободному[1]. Подробнее оста-

[1]Последний сам собой приведет к тому, что будут выражать взаимную зависимость между явлениями природы не пространственно и временно, а в одних численных отношениях. См. заметку в журнале Fichtes Zietschrift für Philosophie 1866 г.

навливаться на развитии этой мысли здесь не может входить в мои намерения.

Я хотел только выяснить перед вами другой пункт. Мы выше привели совет одного философа ограничиваться исследованием ближайшего и полезного. Этот совет находит в себе до известной степени отзвук в призыве современных исследователей к самоограничению и разделению труда. Вы видите теперь, что не всегда уместно следовать этому совету. Мы тщетно мучаемся, запертые в своем кабинете, над разрешением вопроса в то время, как средства для этого решения лежат, может быть, за его порогом.

Если исследователь и вправду должен быть сапожником, знающим только свои колодки, то он обязан, по крайней мере, быть таким сапожником, как Ганс-Сакс, например, который не брезгует взглянуть на работу соседа, чтобы высказать о ней свое мнение. Пусть это и мне послужит извинением, если я сегодня позволил себе отвлечься от моих колодок, чтобы посмотреть в сторону[1].

[1] Дальнейшее развитие обсуждаемых здесь проблем см. в моей книге «Анализ ощущений». И *Сорэ* в своей книге «Sur la perception du beau» рассматривает повторение, как принцип эстетики. Рассуждения *Сорэ* по эстетике гораздо обширнее моих, но в отношении психологического и физиологического обоснования принципа мои мысли мне кажутся глубже.

Глава 8

Принцип сохранения энергии[1]

В 1847 г. знаменитый физик *Джоуль* прочитал популярную лекцию[2], отличающуюся большой простотой и ясностью. Он доказывал в ней, что живая сила, которую получает большое тело при падении с известной высоты и которую оно сохраняет в форме определенной скорости, эквивалентна притяжению на расстоянии пути падения и что было бы «абсурдом» допустить, что эта живая сила может быть уничтожена без восстановления этого эквивалента. Он прибавляет затем: «Вы будете поэтому удивлены, если я скажу вам, что очень недавно еще общее мнение было таково, что живая сила может быть совершенно уничтожена по нашему произволу». Прибавьте сюда, что в настоящее время, по истечении 47 лет, закон сохранения энергии считается во всем культурном мире совершенно неоспоримой истиной и что во всех областях естествознания он находит самое плодотворное применение.

Судьба всех объяснений, имеющих важное значение, очень сходна. При первом своем появлении они большинством людей принимаются за заблуждения. Так, первая работа *Р. Маера* о принципе сохранения энергии (1842 г.) была отвергнута первым немецким физическим журналом, и не лучшая судьба постигла и статью *Гельмгольца* (1847 г.). Даже *Джоуль*, судя по словам *Playfair'a*, встречал затруднения в опубликовании первого своего труда (1843 г.). Но постепенно распространяется сознание, что новый взгляд давно уже подготовлен и давно созрел и что только несколько выдающихся умов приняли его раньше других, чем они и вызвали оппозицию большинства. По мере того, как обнаруживается плодотворность нового взгляда, по мере его успехов, растет и доверие к нему. Большинство людей, пользующихся этим взглядом, не

[1] Глава эта есть свободная переработка одной части моего сочинения «Принцип сохранения работы» и впервые была напечатана в журнале «The Monist» vol. 5, стр. 22.

[2] On Matter, Living Force, and Heat, Joule scientific Papers, London 1884, стр. 256.

может входить в подробное изучение его; оно принимает успех за доказательство основательности. Так может случиться, чтобы воззрение, приведшее к самым выдающимся открытиям, как, например, теория теплоты *Блэка*, впоследствии в другой области, где оно применено быть не может, послужило помехой прогрессу, делая людей слепыми к фактам, не соответствующим излюбленной теории. Чтобы оградить теорию о такой сомнительной роли, необходимо время от времени подвергать самому тщательному исследованию основания и мотивы ее развития и существования.

Механической работой можно вызвать различные физические изменения (термические, электрические, химические и т. д.). При восстановлении прежних состояний опять получается механическая работа, точно в таком же количестве, какое было необходимо, чтобы вызвать восстановленные потом изменения. В этом заключается *принцип сохранения энергии.* Для обозначения того неуничтожающегося нечто, мерою которого служит механическая работа, мало-помалу вошло в употребление название «энергия»[1]. Как же мы пришли к этому? Из каких источников мы почерпнули это познание? Этот вопрос имеет громадный интерес не только сам по себе, но и в силу указанной выше причины.

Мнения о тех основах, на которых покоится закон энергии, в настоящее время еще сильно расходятся. Некоторые сводят принцип сохранения энергии к невозможности *perpetuum mobile*, которую они считают или достаточно доказанной на опыте или даже само собою разумеющееся. В области чистой механики невозможность *perpetuum mobile*, т. е. непрерывного произведения *работы без постоянного, сохраняющегося* изменения, может быть легко доказана. Если, поэтому, исходить из того взгляда, что все физические явления представляют собой только явления механические, движения молекул и атомов, то нетрудно понять, основываясь на этом механическом понимании физики, и невозможность *perpetuum mobile* в области всей физики вообще. Такого мнения в настоящее время придерживается большинство ученых. Другие же исследователи допускают только чисто экспериментальное обоснование закона энергии.

Из дальнейшего будет видно, что на самом деле все затронутые нами моменты участвовали в развитии этого взгляда, но что при этом, кроме того, весьма существенную роль играла до сих пор мало обращавшая на себя внимание логическая и чисто формальная потребность.

---

[1] Название это, судя по всему, впервые ввел в механику *Т. Юнг.*

1. Принцип исключенного perpetuum mobile

Закон энергии в его современной форме не тождественен с принципом исключенного *perpetuum mobile*, но все же стоит с ним в тесной связи. Но этот последний принцип вовсе не нов, потому что в области механики им руководствовались при своих исследованиях величайшие мыслители уже много столетий тому назад. Я позволю себе подтвердить это несколькими историческими примерами:

В своей книге «Hypomnemata mathematica» (tom. IV, de Statica, Leyden 1605) на стр. 34 *Стевин* обсуждает вопрос о равновесии на наклонной плоскости.

На трехсторонней призме ABC (она представлена в разрезе на рис. 1) с горизонтальной стороной AB висит замкнутая веревка, на которой равномерно распределены 14 равнотяжелых шаров. Так как нижнюю симметричную часть веревки ADC можно мысленно не принимать во внимание, *Стевин* заключает, что четыре шара на AB уравновешивают два шара на AC. Ибо, будь равновесие в один какой-нибудь момент нарушено, оно не могло бы существовать никогда, веревка должна была бы вращаться всегда в одном и том же направлении, мы имели бы *perpetuum mobile*. «Но будь это так, ряд шаров должен был бы занимать то же положение, что и раньше, по той же причине восемь шаров левых должны были бы быть более тяжелы, чем шесть правых, и, следовательно, эти восемь должны были бы опускаться вниз, а шесть других подниматься вверх, так что все шары совершали бы непрерывное и вечное движение, чего быть не может.»

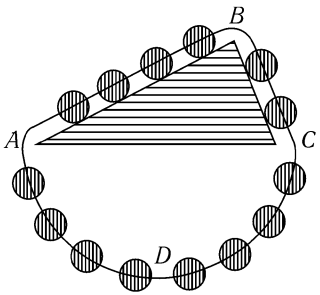


Рис. 26

Отсюда *Стевин* легко выводит законы равновесия для наклонной плоскости и очень много других плодотворных положений.

В главе «Гидростатика» того же сочинения на странице 114 он выставляет следующее положение:

«Данная масса воды сохраняет свое данное место в воде».

Это положение следующим образом доказывается на фигуре 27:

«Итак, допустим, что A (если бы это каким-либо образом могло происходить естественным путем) не сохраняет своего места, а спадает

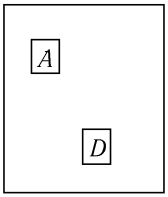


Рис. 27

к D; следуя за ним, вода по той же причине стекала бы в D и отсюда по той же причине стекала бы дальше, так что эта вода (так как везде существует одна и та же причина) представляла бы пример беспрерывного движения, что абсурдно.»

Отсюда выводятся все положения гидростатики. По этому же поводу *Стевин* впервые развивает ту, столь плодотворную для современной теоретической механики мысль, что от прибавления неподвижных связей равновесие системы не нарушается. Пользуясь этим замечанием, в настоящее время выводят, как известно, правило сохранения центра тяжести, например, из принципа *д'Аламбера*.

Если бы мы захотели в настоящее время воспроизвести демонстрации *Стевина*, то, конечно, должны были бы несколько видоизменить их. Для нас не составляет никакой трудности представлять себе, абстрагируя сопротивления, веревку на призме в бесконечном равномерном движении. Напротив, мы бы возражали против допущения ускоренного движения или также против допущения равномерного движения при неустраненных сопротивлениях. Можно также для большей ясности доказательства цепь шаров заменить тяжелой равномерной бесконечно гибкой веревкой.

Все это не изменяет ничего в историческом значении исследований *Стевина*. Факт в том, что *Стевин* выводит из принципа невозможности *perpetuum mobile* истины, по-видимому, гораздо более простые.

В ходе идей, который приводит *Галилея* к его открытиям, значительную роль играет положение, что с достигнутой в своем падении скоростью тело может подниматься именно настолько высоко, насколько оно упало. Это положение, часто и с большой ясностью выступающее у *Галилея*, есть ведь только другая форма исключения *perpetuum mobile*, что мы увидим у *Гюйгенса*.

Общеизвестно, что *Галилей* нашел закон равномерно ускоренного движения падающего тела при помощи умозрения, как «самое простое и естественное». До этого он принял другой закон, но потом от него отказался. Чтобы проверить свой закон падения, он приступил к опытам по падению тела по наклонной плоскости и при этом определял времена падения по весу воды, вытекающей из сосуда тонкой струей. Исходил он из того основного положения, что достигнутая на наклонной плоскости скорость всегда соответствует вертикальной высоте падения. Это

положение вытекает для него из того, что тело, упавшее по наклонной плоскости, может подниматься по другой наклонной плоскости, с любым углом наклона, со своей скоростью не выше вертикальной высоты первой наклонной плоскости. Это положение о высоте поднятия тела привело его, по-видимому, к закону инерции. Послушаем собственные его гениальные рассуждения в dialogo terzo, Opere. Padova, 1744, tom III.

На странице 96 мы читаем:

«Я принимаю, что скорости движения одного и того же тела по различным наклонным плоскостям тогда равны, когда равны вертикальные высоты этих плоскостей.»

К этому он заставляет *Сальвиати* в диалоге заметить следующее:

«Вы рассуждаете весьма правдоподобно, но я хотел бы увеличить эту правдоподобность, подтвердив ее опытом так, чтобы она почти имела силу необходимого доказательства. Представьте себе, что этот лист — вертикальная стена и что на гвозде, прикрепленном к ней, подвешен перпендикулярно к горизонту на тонкой нити AB длиной в 2–3 локтя свинцовый шарик весом в 1–2 унции. На стене проведите горизонтальную линию DC под прямым углом к перпендикуляру AB, который отстоит, допустим, от стены на два дюйма. Переместите потом нить AB с шариком в положение AC и оставьте шарик в покое (см. рис. 28). Вы увидите, что он опишет дугу CBD и настолько перейдет точку B, что, описав дугу BD, почти поднимется до линии CD, опоздав только на маленький кусок, так как точному прибытию к этому пункту мешает сопротивление воздуха и нити. Отсюда мы можем с большой правдоподобностью заключить, что импульс, полученный при падении шарика в точке B при прохождении дуги CB достаточен, чтобы заставить шарик подняться по дуге BD на ту же высоту. Сделав это и повторив это опыт несколько раз, вобьем в стену гвоздь в точке E и затем в точке F так, чтобы он выступал на пять или шесть дюймов. Сделаем это для того, чтобы нить AC, когда шарик по дуге CB дойдет до точки B, зацепилась за гвоздь и была бы вынужде-

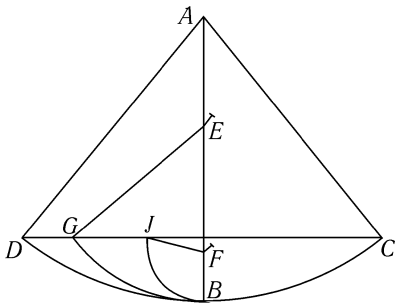


Рис. 28

на продолжить свое движение по окружности BG, описанной вокруг точки E. Мы увидим, что сделает та скорость, что доводила шарик по дуге BD до высоты горизонтальной линии CD. Теперь, господа, вы с удовольствием увидите, что шарик подойдет к горизонтальной линии в точке G. То же самое произойдет, если вы поместите препятствие ниже в точке F: шарик тогда опишет дугу BJ, всегда заканчивая свое движение точно на линии CD. Если бы препятствующий гвоздь был помещен так низко, что нить из-за него не могла бы дойти до высоты CD (что случилось бы, если бы он был ближе к точке B, чем к пересечению AB с горизонтальной линией CD), то нить, дойдя до гвоздя, обернулась бы вокруг него. Этот опыт не оставляет сомнений в правильности выдвинутого нами положения: так как обе дуги CB и DB равны и симметрично расположены, то момент, достигнутый движением по дуге CB, равняется моменту движения по дуге DB; но момент в точке B, созданный падением по дуге CB, может толкнуть вверх то же подвижное тело по дуге BD. Вследствие этого момент, приобретенный при движении по дуге DB, равняется тому моменту, который толкает то же самое подвижное тело по той же дуге от точки B к точке D. И вообще всякий момент, приобретенный при падении по дуге, равняется тому моменту, который может поднять то же тело по той же дуге; но все моменты, которые могут поднять тело по дугам BD, BG, BJ, равны между собой, так как они все развились падением по дуге CB, как это доказывает опыт; поэтому и все моменты, которые развились падением по дугам BD, GB, JB, равны между собой».

Замечание, сделанное относительно маятника, сейчас же переносится на наклонную плоскость и приводит к закону инерции. На странице 124 мы читаем:

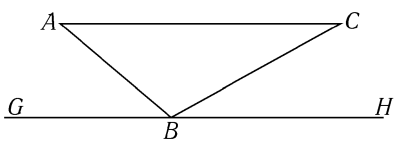


Рис. 29

«Известно уже, что если тело, находящееся в покое в точке A, движется вниз по пути AB, то скорость его возрастает пропорционально приращению времени; в точке B скорость его наибольшая и остается по своей природе неизменной, если причина ускорения или замедления устранена: она возрастает, если тело продолжает двигаться вниз по другой наклонной плоскости, и убывает, если тело движется вверх по наклонной плоскости BC; по горизонтальному же пути GH тело может

двигаться почти с той же скоростью, которую оно имеет в точке B, до бесконечности».

Гюйгенс, этот во всех своих работах последователь *Галилея*, дает закону инерции более точное определение и обобщает правило относительно высоты поднятия, оказавшееся столь плодотворным для *Галилея*. Этим правилом он пользуется для решения проблемы о центре колебаний и вполне ясно заявляет, что правило о высоте поднятия тождественно с принципом исключенного *perpetuum mobile*. Приведем важные места из сочинения *Гюйгенса* Horologium oscillatorium, pas secunda. Гипотезы:

«Если бы не было тяжести и если бы воздух не препятствовал движению тел, то всякое тело, раз приведенное в движение, продолжало бы его с постоянной скоростью и по прямой линии.»

Horologium, pars guarta. О центре колебания:

«Если какие-нибудь тела силой своей тяжести начинают двигаться, то общий центр тяжести их не может подниматься выше того места, где он находился в начале движения.»

«Сама же наша гипотеза, как мы это покажем, чтобы устранить сомнения, ничего другого не выражает, как только то, чего никто никогда не отрицал, и именно, что тела тяжелые (сами) не двигаются вверх. И действительно, если бы ею умели пользоваться изобретатели, в тщетных попытках тратящие свои силы на изобретение *perpetuum mobile*, они легко бы заметили собственные свои заблуждения и поняли бы, что в области механики нельзя признать изобретение возможным.»

Может быть, в словах «mechanica ratione» скрывается известная иезуитская задняя мысль. Можно на основании этих слов подумать, что немеханическое *perpetuum mobile Гюйгенс* считает возможным.

Яснее еще выражено обобщение принципа *Галилея* в Propos. IV глава той же части книги *Гюйгенса*:

«Представим себе, что маятник, сложенный из нескольких маятников различного веса, выведен из состояния покоя и, после того как он совершил какую-нибудь часть целого колебания, разделен на составные маятники, которые с полученной скоростью двигаются обратно и поднимаются до той или иной высоты; общий их центр тяжести вернется после этого до той же высоты, на которой он находился раньше до начала колебания.»

Последнее положение есть обобщение для системы масс того принципа, который был установлен *Галилеем* для одной массы и, согласно

разъяснениям *Гюйгенса*, представляет собой не что иное, как принцип исключенного *perpetuum mobile*. На этом положении *Гюйгенс* обосновывает свою теорию центра колебаний. *Лагранж* называет этот принцип *ненадежным* и радуется тому, что *Якову Бернулли* удалось в 1681 году свести теорию центра колебаний к законам рычага, которые кажутся ему яснее. Над разрешением той же проблемы работали почти все выдающиеся исследователи XVII и XVIII столетий, и все эти работы в конце концов приводят в связи с принципом возможной скорости к принципу, провозглашенному *д'Аламбером* (Traite de dinamique, 1743) и еще раньше применявшемуся в несколько другой форме *Эйлером* и *Германном*.

Кроме того, положение *Гюйгенса* о высоте поднятия становится основой для закона сохранения живой силы и принципа сохранения силы вообще, провозглашенного *Иоганном* и *Даниэлем Бернулли* и нашедшего столь плодотворное применение в особенности в гидродинамике последнего. Эти положения *Бернулли* только по форме отличаются от позднейшей формулы *Лагранжа*.

Способ, которым *Торричелли* пришел к своей знаменитой теореме истечения жидкости, снова приводит к нашему принципу. *Торричелли* сделал допущение, что вытекающая из отверстия в дне сосуда жидкость при помощи своей скорости истечения может подняться не выше, чем она стоит в сосуде.

Рассмотрим еще один пункт, относящийся к чистой механике, именно, историю принципа возможного (виртуального) движения. Принцип этот не был провозглашен *Галилеем*, как это обыкновенно утверждают и как полагает и *Лагранж*, а во всяком случае был провозглашен раньше *Стевином*. В своей Trochleostatica, части названного выше сочинения, на странице 172 он говорит:

«Заметим еще здесь, что существует следующая аксиома в статике: как расстояние действующего относится к расстоянию подвергающегося воздействию, так сила подвергающегося воздействию относится к силе действующего.»

Как известно, *Галилей* заметил правильность принципа при изучении простых машин и из него же вывел законы равновесия жидкостей.

Торричелли сводит принцип к свойствам центра тяжести. Пусть в какой-либо простой машине сила и сопротивление представлены через привешенные грузы. Для равновесия системы необходимо, чтобы общий центр тяжести привешенных грузов не падал. И наоборот, если

центр тяжести не может падать, то равновесие существует, ибо тяжелые тела сами не могут подниматься вверх. В этой форме, следовательно, принцип возможной скорости тождественен с принципом невозможности *perpetuum mobile Гюйгенса.*

Иоганн Бернулли впервые в 1717 году признает в письме к *Вариньену* общее значение принципа возможного движения для любых систем.

Наконец, *Лагранж* дает общее доказательство принципа и кладет его в основу своей аналитической механики. Но это общее доказательство основывается в сущности только на замечаниях *Гюйгенса* и *Торричелли.*

Лагранж, как известно, представляет себе в направлениях, действующих в системе сил, род простого полиспаста, перебрасывает нить через все блоки и к последнему из них подвешивает груз, являющийся общей мерой всех действующих в системе сил. Число элементов каждого отдельного полиспаста легко выбрать так, чтобы соответственная сила действительно была им заменена. Тогда ясно, что если подвешенный к последнему блоку груз не может опускаться вниз, в системе существует равновесие, ибо тяжелые тела сами не могут подниматься вверх.

Кто не хочет идти так далеко, а хочет остаться ближе к позиции *Торричелли*, тот может представить себе каждую силу системы в отдельности замещенной особым грузом, висящим на нити, переброшенной через блок, который находится в направлении силы, и укрепленный в точке приложения силы. Равновесие существует, когда общий центр тяжести всех грузов не может опускаться вниз. Основным доказательством этого допущения является, очевидно, невозможность *perpetuum mobile.*

Лагранж неоднократно старался дать вполне удовлетворительное доказательство, свободное от чуждых элементов, но это ему не удалось вполне. Не удавалось это, по-видимому, и другим.

Так вся механика основана на мысли, которая кажется и если не сомнительной, то все же чуждой и не того происхождения, что и остальные основные положения и аксиомы механики. Всякий, кто занимается механикой, чувствует неловкость этого состояния, всякий желает ее устранения, но редко это желание выражается громогласно. И вот молодой ученый чувствует высокое удовлетворение, прочитав у такого мастера, как *Пуансо* в его Theorie generale de I‘equilibre et du mouvement des systems следующее место, в котором он высказывается относительно аналитической механики.

«Так как в этом произведении прежде всего было обращено внимание на это прекрасное развитие механики, которая, казалось, вся исходит из одной только формулы, то, естественно, полагали, что наука завершена и что остается только найти доказательство принципа возможных скоростей. Но этим были снова восстановлены все те трудности, которые, казалось, были преодолены самим принципом. Этот столь общий закон, в котором смешаны смутные и чуждые идеи бесконечно малых движений и нарушений равновесия, не выдержал, так сказать, испытания. Так как книга *Лагранжа* не дает ничего более кроме ряда вычислений, то вполне очевидно, что она не внесла больше света в механику, ибо неясные ее стороны были, так сказать, заложены в самом корне этой науки.»

«Чтобы получить общее доказательство принципа возможных скоростей, вся механика должна быть построена на совершенно другой основе: доказательство закона, охватывающего целую науку, должно быть ничем иным, как сведением этой науки к другому закону, тоже общему, но очевидному, или, по крайней мере, более простому, чем первый, и делающему, следовательно, этот первый закон бесполезным.»

Таким образом, доказать принцип возможного движения значит для *Пуансо* преобразовать всю механику.

Другое неприятное для математиков обстоятельство заключается в том, что в том историческом состоянии, в котором находится в настоящее время механика, динамика основана на статике, а между тем желательно было бы, чтобы в науке, претендующей на дедуктивное завершение, более специальные положения статики легко могли быть выведены из более общих положений динамики.

Это желание находит выражение у другого великого ученого, именно у *Гаусса*. Выставив свой принцип наименьшего принуждения (Crelle's Journal IV Bd., стр. 233), он говорит: «Как ни естественно то, что при постепенном развитии науки и при изучении ее отдельным индивидуумом более легкое предшествует более трудному, более простое — более сложному, частное — общему, тем не менее наш дух, раз достигший высшей точки развития, все же требует и обратного пути, и тогда вся статика представляет лишь частный случай механики». Принцип *Гаусса* есть, действительно, принцип общий, но только жаль, что это не видно непосредственно и что *Гаусс* вывел его с помощью принципа *д'Аламбера*, вследствие все осталось по-старому.

Откуда же эта странная роль, которую играет в механике принцип возможного движения? На это я покуда отвечу следующее. Трудно мне будет описать разницу в впечатлении, которое произвело на меня доказательство принципа *Лагранжем*, прочитанное мной впервые во время моего студенчества, и впоследствии еще раз после того, как я занимался историческими исследованиями. Раньше доказательство это показалось мне нелепым и именно из-за блоков и нитей. Те и другие казались мне неподходящими для математического исследования и действие их я предпочел бы распознавать из самого принципа, чем предположить известным. Но после того, как я изучил историю механики, я лучшего доказательства не могу представить.

В действительности, во всей механике почти все достигается при помощи все того же принципа исключенного *perpetuum mobile*, который так не нравится *Лагранжу* и которым он тем не менее пользуется, по крайней мере, в скрытом виде, в своих доказательствах. Стоит дать этому принципу правильную постановку и правильное определение, чтобы парадоксальное стало естественным.

Итак, принцип исключительного *perpetuum mobile*, разумеется не новое открытие; в течение 300 лет им руководствуются величайшие исследователи. Но с другой стороны, принцип этот не может собственно основываться на познаниях механики. Ибо убеждение в правильности его существует задолго до развития этой науки и именно это убеждение влияет на само это развитие. Очевидно, следовательно, что эта убедительная сила должна иметь более общие и более глубокие корни. Мы вернемся еще к этому пункту.

2. Механическая физика

Вряд ли кто-нибудь станет отрицать тот факт, что от *Демокрита* вплоть до новейшего времени существовало несомненное стремление к механическому объяснению всех физических процессов. Если оставить в стороне все старые, неясные формулировки, то мы можем еще у *Гюйгенса*[1] прочесть следующее:

«Не подлежит никакому сомнению, что свет заключается в движении какого-нибудь вещества. Ибо, если мы обратимся к вопросу о происхождении его, то мы найдем, что здесь на земле его создают огонь и пламя, которые, без сомнения, содержат тела в сильном движении, потому что они разлагают и расплавляют множество весьма твердых

[1] Traide de la lumiere. 1690 стр. 2.

тел. Если же мы обратимся к его действиям, мы увидим, что собранный вогнутым зеркалом свет обладает способностью жечь, как огонь, т. е. что он разъединяет части тела. Это, несомненно, указывает на движение, по крайней мере, для истинной философии, которая все естественные действия сводит к механическим причинам. Так, по моему мнению, необходимо делать, если мы не хотим совсем отказаться от надежды что-нибудь понять в физике».

С. Карно[1], вводя принцип исключенного *perpetuum mobile* в учение о теплоте, говорит в свое оправдание следующее:

«Нам, может быть, возразят, что была доказана невозможность *perpetuum mobile* только для процессов механических, но оно может быть возможно в применении к теплоте или электричеству. Но можно ли в явлениях теплоты или электричества усматривать что-нибудь другое, кроме движения известных тел, а если так, то не должны ли они удовлетворять общим законам механики?»

Эти примеры, которые можно было бы приводить без конца, пользуясь цитатами из сочинений новейшего времени, показывают, что стремление все объяснить механически действительно существует. И это стремление так же объяснимо. Механические процессы, как простые движения в пространстве и времени, наиболее доступны наблюдению и исследованию с помощью тех из наших чувств, органы которых отличаются высшей организацией. Механические процессы мы воспроизводим в воображении почти без всякого труда. Давление, как обстоятельство, вызывающее движение, хорошо известно нам из повседневного опыта. Все перемены, вызываемые индивидуумом в окружающей его среде, или человечеством — путем техники в мире, осуществляются с помощью движений. Могло ли движение не казаться нам важнейшим физическим фактором.

Кроме того, во всех физических процессах можно открыть механические свойства. Звучащий колокол дрожит, нагретое тело расширяется, наэлектризованные тела притягиваются. Почему бы в таком случае не попытаться объяснить себе все процессы со стороны более нам привычной, более доступной наблюдению и измерению, т. е. механически? Ничего также нельзя возразить против попытки объяснить механические свойства физических процессов механическими аналогиями.

Но современная физика, правда, зашла в этом направлении уже очень далеко. Точка зрения, выставленная *Вундтом* в его очень ин-

[1] Sur la piussance motrice du feu. 1824.

тересном сочинении «О физических аксиомах», разделяется, вероятно, большинством физиков.

Вундт устанавливает следующие аксиомы физики:

1. Все причины в природе суть причины движения.

2. Всякая причина движения лежит вне того, что находится в движении.

3. Все причины движения действуют в направлении прямой связующей линии.

4. Действие каждой причины сохраняется.

5. Каждому действию соответствует равное противодействие.

6. Каждое действие эквивалентно причине.

С этими положениями можно было бы согласиться, как с основными принципами механики. Но когда их выставляют в качестве аксиом физики, то это равносильно, собственно говоря, отрицанию всех процессов движения. Все изменения в природе являются, по мнению Вундта, только переменами места, все причины — причинами движений. Если бы мы захотели вникнуть в философское обоснование этого взгляда, даваемое Вундтом, то это привело бы нас к умозрениям элеатов и гербартианцев. Перемена места, полагает Вундт, является единственной переменой, происходящей с вещью, когда сама вещь остается тождественной. Когда какая-либо вещь изменяется качественно, то скорее можно было бы думать, что одна вещь исчезает, а другая появляется, что трудно совместить с представлением о тождестве наблюдаемой сущности и о неразрушаемости материи. Но нам стоит лишь вспомнить, что совершенно такого же рода затруднения находили элеаты в движении. Нельзя разве представить себе, что вещь исчезает в одном месте, а другая, такая же появляется в другом?

Разве по существу дела мы больше знаем о том, почему тело оставляет одно место и появляется в другом, чем то, как холодное тело становится теплым? Допустим, что мы постигли процессы механики вполне. Имеем ли мы право и возможность устранять на этом основании из мира другие процессы, которых мы не понимаем? Придерживаясь такого принципа, было бы проще всего отрицать существование всего мира. Элеаты, собственно, и пришли к такому результату, а гербартианци были недалеки от него.

Физика, разрабатываемая таким образом, дает нам схему, в которой едва ли можно узнать действительный мир. И в самом деле, людям, в продолжении нескольких лет придерживавшимся таких воззре-

ний, чувственный мир, из которого, как из вполне знакомой вещи, они первоначально исходили, представляется вдруг величайшей «мировой загадкой»!

Таким образом, как бы ни было понятно то обстоятельство, что люди стремятся все физические процессы «свести к движениям атомов», этот идеал все же следует назвать химерой. В популярных лекциях он часто играл роль эффектной программы. Но в кабинете серьезного исследователя он едва ли играл существенную роль.

В действительности механическая физика дала нам только следующее: она объясняла физические процессы при помощи более понятных нам механических аналогий, примерами чего служит теория света и электричества, или давала точное количественное определение связи, существующей между механическими и другими физическими процессами, примерами чего служат работы в области термодинамики.

3. Принцип сохранения энергии в физике

Только опыт может убедить нас в том, что механические процессы обуславливают другие физические превращения и наоборот. Благодаря изобретению паровой машины и той роли, какую она играет в технике, было обращено внимание в первую очередь на связь механических процессов (в особенности работы) с изменениями теплового состояния. В голове *С. Карно* потребность в научной ясности соединялась с теоретическим интересом, и это привело к замечательным соображениям, результатом которых является термодинамика. Лишь исторической случайностью объясняется тот факт, что этот ряд идей не мог быть связан с электротехникой.

В своих исследованиях вопроса о том, какой *maximum* может дать *тепловая* машина вообще и паровая в частности при *определенной* затрате *теплоты сгорания*, *С. Карно* исходил из механических аналогий. Тело может произвести работу, когда оно расширяется при нагревании под известным давлением. Но оно при этом должно получать теплоту от какого-нибудь более нагретого тела. Следовательно, для того, чтобы производить работу, теплота должна переходить от более теплого тела к более холодному, как вода для того, чтобы приводить в движение мельницу, должна падать с более высокого уровня до более низкого. Таким образом, разности температур так же *представляют* рабочие силы, как и разности высоты (падения) тяжелых тел.

Карно придумывает *идеальный* процесс, при котором ни одна часть теплоты не тратится бесполезно (не производя работы). Этот процесс и дает нам при заданной затрате теплоты максимум работы. Нечто подобное представляло бы собой мельничное колесо, черпающее на более высоком уровне воду, которая в нем же не очень медленно, не теряя ни капли, спускается на более низкий уровень. Этот процесс характеризуется тем, что при затрате той же работы вода опять может быть поднята на первоначальную высоту. Это свойство обратимости мы находим и в процессах *Карно*. И в нем при затрате той же работы может быть восстановлено первоначальное состояние, причем температура возвращается к своему первоначальному уровню.

Допустим, что существуют два различных обратимых процесса A, B и именно таких, что количество теплоты Q при понижении температуры с t_1 до t_2 дает в первом работу W, а во втором при тех же условиях работу $W + W^1$. Мы могли бы тогда связать процесс B, происходящий в указанном направлении, с процессом A, которому мы придали бы предварительно направление обратное, в один процесс. Процесс A восстанавливал бы тогда изменения, производимые процессом B, и дал бы еще некоторый излишек работы W^1, который был бы получен, так сказать, из ничего. Мы имели бы в этой комбинации *perpetuum mobile*.

Чувствуя, что не составляет большой разницы, обнаруживаются ли законы механические непосредственно или окольным путем (через посредство процессов теплоты), и будучи убежден в общей закономерной связи между всеми явлениями природы, *Карно* здесь впервые исключает *perpetuum mobile* из области общей физики. *Но в таком случае величина W, которая может быть получена при переходе количества теплоты Q от t_1 до t_2, вовсе не может зависеть ни от природы веществ, ни от характера процесса* (*если только он не сопряжен с потерями*), *а только от температур t_1 и t_2*.

Это важное положение нашло полнейшее подтверждение в специальных исследованиях самого *Карно* (1824), *Клапейрона* (1834) и *Уилльяма Томсона* (1849). Получено оно одним исключением *perpetuum mobile*, без всякого допущения относительно природы теплоты. *Карно*, правда, сохранил взгляд *Блэка*, по которому все количество теплоты остается неизменным, но поскольку исследование до сих пор рассматривалось, решение этого вопроса значения не имеет. Уже правило *Карно* привело к самым замечательным результатам. *Уилльям Томсон* (лорд Кельвин) (1848) положил его в основу своей гениальной мысли об аб-

солютной (общесравнимой) термометрической шкале. Джемс Томсон (1849) представил себе процесс *Карно* в виде замерзающей под давлением и потому совершающей работу воды. Он установил при этом, что давление одной атмосферы понижает точку замерзания на $0,0075\,^{\circ}$Ц. Я упоминаю об этом только для примера.

Два десятилетия спустя после обнародования работы *Карно* был достигнут работами *Р. Майера* и *Джоуля* дальнейший шаг вперед. Служа врачем на острове Яве, *Майер* заметил при кровопускании яркую окраску венозной крови. Согласно теории животной теплоты *Либиха*, он привел этот факт с ничтожной потерей крови в более теплом климате и с незначительной тратой органического горючего материала. Вся потеря теплоты человека, остающегося в покое, должна была соответствовать всей теплоте сгорания. А так как все функции организма, включая и механические, должны быть отнесены на счет теплоты сгорания, то должно было существовать известное отношение между механической работой и тратой теплоты.

Джоуль исходил из подобных же рассуждений относительно гальванической батареи. Соответствующая потреблению цинка теплота соединения может обнаружиться и в гальваническом элементе. Когда появляется ток, то часть этой теплоты появляется в проводнике. Если включить в цепь аппарат для разложения воды, то часть этой теплоты исчезает, но она опять появляется при взрыве образовавшегося таким образом гремучего газа. Когда ток приводит в движение электромотор, то опять исчезает часть теплоты, но она снова обнаруживается при поглощении работы трением. Таким образом и Джоулю получаемая теплота и производимая работа представляются связанными с тратой какого-то вещества. И *Майер*, и *Джоуль* не далеки от того, чтобы рассматривать теплоту и работу как величины однородные, находящиеся между собой в такой зависимости, что постоянно в одной форме является то, что исчезает в другой. Отсюда вытекает субстанциональное представление о теплоте и работе, и в конце концов субстанциональное представление об энергии вообще. Энергия усматривается во всякой перемене физического состояния, уничтожение которого создает работу (или эквивалентную ей теплоту). Электрический заряд, например, есть энергия.

Майер (1842) вычислил, основываясь на общеизвестных в то время физических данных, что *при уничтожении одной килограмм-калории может быть произведено* 365 *килограммометров работы*, и наоборот.

Джоуль же предпринял в 1843 г. целый ряд остроумных и разнообразных опытов и в конце концов определил механический эквивалент килограмм-калории с гораздо большей точностью, а именно, в 425 килограммометров.

Если измерять всякое изменение физического состояния механическое работой, которая может быть совершена при его исчезновении, и называть эту меру энергией, то можно все изменения физического состояния, как бы разнородны они не были, измерять одной и той же мерой и сказать: *сумма всех энергий остается постоянной.* Такова форма, которую принял принцип исключенного *perpetuum mobile*, когда применение его было распространено на всю физику работами *Майера, Джоуля, Гельмгольца* и *У. Томсона* (лорда Кельвина).

После того как было доказано, что теплота должна исчезать, чтобы насчет ее могла быть произведена механическая работа, было уже невозможно усматривать в принципе *Карно* полное описание фактов. Дополнили его впервые *Клаузиус* (1850), а потом в 1851 г. *Томсон.* В новой форме принцип этот гласит так: если *количество теплоты* Q^1 превращается в обратимом процессе *в работу*, то другое количество теплоты Q падает с абсолютной[1] температуры T_1 до абсолютной температуры T_2. При этом Q^1 зависит только от Q, T_1, T_2, но совсем *не зависит* от употребляемых в дело веществ и от характера процесса (если он не сопряжен с потерями). Вследствие этого последнего обстоятельства достаточно определить это отношение для одного хорошо известного в физическом смысле вещества (например, для газа) и для одного определенного сколько угодно простого процесса. Это отношение будет тогда общеобязательным. Этим путем находят:

$$\frac{Q^1}{Q^1+Q} = \left(\frac{T_1-T_2}{T_1}\right) \tag{1}$$

Это значит, что частное от деления превращенной в работу (полезной) теплоты Q^1 на сумму из превращенной в работу и сообщенной (всей поглощенной) теплоты, т. е. так называемый *экономический коэффициент процесса* есть

$$\frac{T_1-T_2}{T_1}.$$

[1] Под этим подразумевается 273 °Ц ниже точки кипения воды.

4. Представления о теплоте

Когда какое-нибудь холодное тело приходит в соприкосновение с теплым, то первое, как это не трудно заметить, нагревается, а второе охлаждается. Можно сказать, что *одно* тело нагревается *за счет другого.* Отсюда недалеко до представления о каком-то нечто, о каком-то веществе, теплороде, переходящем из одного тела в другое. Если в соприкосновение приходят две массы воды, m и m^1, неодинаковой температуры, то оказывается, что при быстром уравнении их температур их изменения температур, u и u^1, обратно пропорциональны массам и имеют противоположные знаки, так что алгебраическая сумма их произведений

$$mu + m^1u^1 = 0.$$

Блэк назвал эти произведения, играющие существенную роль при изучении явления, mu, m^1u^1 количествами теплоты. Их можно вместе с *Блэком* представлять себе очень наглядно, как меры количества вещества. Но существенное значение имеет не этот образ, а неизменяемость указанных сумм произведений при переходе теплоты с одного тела на другое. Если где-нибудь исчезает какое-нибудь количество теплоты, то вместо него где-нибудь в другом месте появляется равное ему. Усвоение такого представления приводит к открытию удельной теплоты. В конце концов *Блэк* признает, что взамен исчезнувшей теплоты может появиться и нечто другое, а именно, расплавление или испарение известного количества вещества. Он здесь еще удерживает с известной долей свободы излюбленное представление и рассматривает исчезнувшее при этом количество теплоты, как еще существующее, но скрытое.

Общепринятое представление о теплороде было сильно поколеблено работами *Майера* и *Джоуля.* Если количество теплоты может быть увеличено или уменьшено, говорили тогда, то теплота не может быть веществом, а должна быть движением. Этот несущественный вывод сделался гораздо популярнее, чем все остальные учения о энергии. Мы можем, однако, убедиться, что взгляд на теплоту, как на движение, в настоящее время столь же мало существенен, как и прежний взгляд на нее, как на вещество.

Оба эти представления встречали себе поддержку или препятствия в случайных исторических обстоятельствах. Из того, что данному количеству теплоты соответствует механический эквивалент, еще вовсе не следует, что теплота — это не вещество.

Выясним это при помощи одного вопроса, с которым ко мне неоднократно обращался кое-кто, пробудившийся к самостоятельному мышлению. Существует ли механический эквивалент электричества, как существует механический эквивалент теплоты? И да, и нет! Нет такого механического эквивалента количества электричества, как есть эквивалент количества теплоты, ибо одно и то же количество электричества может иметь весьма различный эквивалент работы в зависимости от условий, при которых оно дано. Но есть механический эквивалент электрической энергии.

Прибавим сюда еще один вопрос. Существует ли механический эквивалент воды? Эквивалента количества воды нет, но есть эквивалент веса воды, умноженного на высоту ее падения.

Когда лейденская банка разряжается и совершает при этом работу, то мы не представляем себе, будто количество электричества исчезает и совершает работу, а мы принимаем, что оба вида электричества приходят лишь в другое состояние, а именно равные количества положительного и отрицательного электричества соединяются между собой.

Откуда же это различие в нашем представлении того, что происходит в случае теплоты и в случае электричества? Оно имеет только исторические основания совершенно условно и — что еще важнее — вполне безразлично. Я позволю себе обосновать это.

В 1785 году *Кулон* построил свои крутильные весы, которые дали ему возможность измерить силу отталкивания электрических тел. Допустим, что у нас два маленьких шарика A и B, совершенно равномерно заряженных электричеством. При определенном расстоянии между их центрами r пусть эти шарики отталкиваются друг от друга с определенной силой p. Мы приводим в соприкосновение шарик B с телом C, и оба при этом равномерно наэлектризуются; затем измеряем силу, с которой отталкивается от A шарик B и тело C на одном и том же расстоянии r. Сумма этих сил отталкивания опять будет p. Что-то при этом разделении осталось постоянным, именно сила отталкивания. Если мы будем приписывать это действие какому-нибудь действующему началу, веществу, например, мы без всяких натяжек сделаем вывод о постоянстве его.

В 1838 году *Рисс* построил свой электрический воздушный термометр. Этот прибор дает меру того количества теплоты, которое получается при разрежении лейденской банки. Это количество теплоты не пропорционально количеству электричества, содержащемуся в банке,

согласно измерению *Кулона*, а пропорционально $\frac{q^2}{s}$, где q есть это количество, а s — некий коэффициент, зависящий от поверхности, формы и толщины стекла банки, или короче, пропорционально энергии заряженной банки. Допустим, что мы разрядили сперва совершенно какую-нибудь лейденскую банку через наш термометр и получили известное количество теплоты W. Если же мы разрядим ее через термометр в другую лейденскую банку, то мы получим меньше, чем W. Остаток мы можем получить еще, если мы термометром разрядим обе лейденские банки и он опять будет пропорциональным энергии обоих этих банок. Таким образом, при первом неполном разряжении часть способности действия электричества пропала.

Когда электрический заряд лейденской банки производит теплоту, то энергия ее изменяется и величина ее, как указывает термометр *Рисса*, убывает. Но количество электричества, по измерению *Кулона*, остается без изменений.

Теперь представим себе, что термометр *Рисса* изобретен раньше, чем крутильные весы *Кулона*. Представить себе это не трудно, потому что эти изобретения совершенно друг от друга не зависят. Что было бы естественнее, если бы количество содержащегося в лейденской банке электричества оценивалось по теплоте, вызванной в термометре? Но тогда так называемое количество электричества уменьшалось бы при образовании теплоты или совершении работы, между тем как теперь оно остается без изменений. Тогда, следовательно, электричество не было бы веществом, а было бы движением, между тем как теперь оно еще вещество. Отсюда ясно, что если мы об электричестве думаем иначе, чем о теплоте, то этот факт имеет чисто историческое и совершенно случайное, условное основание.

И так обстоит дело и с другими физическими вещами. Вода не исчезает при совершении работы. Почему? Потому что количество воды мы измеряем весами, как электричество. Но представим себе, что величина работы воды называется количеством и должна, поэтому, измеряться не весами, а мельницей, например. Тогда это количество, совершая работу, исчезло бы. Но легко представить себе, что некоторые вещества могут оказаться не столь осязательными, как вода. Мы тогда один род измерения — при помощи весов — не могли бы осуществить, а некоторые другие способы измерения у нас остались бы. И вот для теплоты исторически установившейся мерой «количества» случайно является величина работы теплоты. Поэтому она и исчезает, когда совершается работа. Но

что теплота не есть вещество, отсюда вытекает столь же мало, как и утверждение противоположное.

Если бы кому-либо нравилось и в настоящее время еще представлять себе теплоту, как вещество, можно было бы ему позволить это невинное удовольствие. Он должен был бы только представлять себе, что то самое, что мы назовем количеством теплоты, есть энергия вещества, количество которого остается без изменения, между тем как энергия изменяется. В действительности же было бы гораздо лучше, если бы мы по аналогии с остальными физическим обозначениями вместо «количества теплоты» говорили «энергия теплоты».

Таким образом, если мы поражаемся открытием, что теплота есть движение, то мы поражаемся тем, что никогда не было вовсе открыто. Совершенно безразлично и не имеет ни малейшего научного значения, представляем ли мы себе теплоту, как вещество, или нет.

Дело именно в том, что в одних отношениях теплота обнаруживает такие свойства, как вещество, а в других — нет. Теплота так же скрыта в парах, как кислород в воде.

5. Сходство в проявлении различных видов энергии

Предыдущие наши рассуждения выигрывают в ясности, если обратить внимание на сходство в проявлении всех видов энергии, на что я указывал уже давно[1]. Груз P на высоте H_1 представляет энергию $W_1 = PH_1$. Пусть груз падает до меньшей высоты H_2, причем производится работа, которая служит для получения живой силы, теплоты, электрического заряда и т. д., которая, одним словом, превращается во что-нибудь другое. Тогда остается еще энергия $W_2 = PH_2$. Мы имеем тогда уравнение:

$$\frac{W_1}{H_1} = \frac{W_2}{H_2}. \tag{2}$$

Если же мы через $W^1 = W_1 - W_2$ обозначим превращенную энергию, а через $W = W_2$ обозначим энергию, переведенную на низший

[1] Я указывал на это впервые в своем сочинении «Über die Erhaltung der Arbeit». Прага 1872. («Принцип сохранения работы». С.-Петербург 1909.) На аналогию между механической и термической энергией еще раньше того указывал *Цейнер*. Дальнейшие указания я дал в «Geschichte und Kritik des Carnotschen Wärmegesetzes». Sitzungsberichte der Wiener Akademie. Декабрь 1892. Ср. также рассуждения *Гельма, Оствальда* и др. современных «энергетиков».

уровень, то мы получим следующие уравнение:

$$\frac{W^1}{W^1 + W} = \frac{H_1 - H_2}{H_1}. \tag{3}$$

Это уравнение аналогично уравнению 1. Свойство это, таким образом, вовсе не принадлежит исключительно теплоте. Уравнение 2 выражает отношение между энергией, взятой с верхнего уровня, и энергией, отданной на низшем уровне (оставшейся); оно выражает то, что энергии эти пропорциональны высотам уровней. Аналогичное уравнению 2 уравнение можно установить для *каждой* формы энергии, а потому для нее же может быть установлено уравнение, соответствующее уравнениям 3 и 1. В случае электричества, например, H_1, H_2 обозначают потенциалы.

Когда впервые замечают изложенное здесь сходство в законе превращения различных видов энергии, оно кажется неожиданным и странным, так как не видна сразу причина его. Но для того, кто пользуется сравнительно-историческим методом изучения, причина эта не может оставаться надолго скрытой.

Со времен *Галилея* механическая работа есть основное занятие механики и важное понятие техники, хотя она долго еще не была известна под тем названием, которое она носит в настоящее время. Превращение работы в живую силу и наоборот приводит к пониманию энергии, которое впервые было успешно использовано *Гюйгенсом*, хотя только *Т. Юнг* употребил в первый раз название «энергия». Если мы прибавим к этому неизменяемость веса (т. е. собственно массы), то в отношении механической энергии уже из самого определения вытекает, что работоспособность, или (потенциальная) энергия груза, пропорциональна высоте (в геометрическом смысле) и что она при падении вниз при превращении убывает пропорционально высоте. Уровень, принимаемый за нулевой, здесь совершенно произволен. Этим дано уравнение 2, из которого вытекают остальные формы.

Если принять во внимание, насколько механика опередила в своем развитии остальные области физики, то не покажется странным, что понятиями первой охотно пользуются всюду, где это было удобно. Так, например, *Кулон* создал свое понятие количество электричества по образцу понятия массы. В дальнейшем развитии учения об электричестве понятие работы было применено в теории потенциала и *высота электрического потенциала* стала измеряться работой, необходимой, чтобы довести до нее единицу количества электричества. Этим приведенное

выше уравнение со всеми вытекающими из него последствиями стало применимо и к электрической энергии. То же происходило и с другими видами энергии.

Особенный случай представляет, однако, тепловая энергия. Что теплота представляет собой энергию, могло быть открыто только благодаря тем своеобразным опытам, о которых мы говорили выше. Но измерение этой энергии количеством теплоты *Блэка* зависит от случайных обстоятельств. Прежде всего случайной, незначительной изменчивостью теплоемкости c при изменении температуры и случайно ничтожным отклонением общеупотребительных термометрических шкал от шкалы упругости газа объясняется то, что было установлено понятие количества теплоты и что количество теплоты ct, соответствующее разности температур t, действительно почти пропорционально энергии теплоты. Совершенно случайно было то, что *Amontons* пришел к мысли измерять температуру упругостью газа. О работе теплоты он при этом, конечно, не думал[1]. Но этим *числа*, выражающие температуру, становятся при равных изменениях объема *пропорциональны упругости газов* и, следовательно, *производимым ими работам.* Благодаря этому получается также пропорциональность между уровнями температуры и уровнями работы.

Если бы были выбраны признаки теплового состояния, сильно различающиеся от упругости газа, то это отношение могло бы оказаться весьма сложным и тогда рассматриваемого сходства между теплотой и другими видами энергии не было бы. Поразмышлять над этим очень поучительно.

Итак, сходство в проявлении различных видов энергии не представляет собой никакого закона природы, а оно скорее обусловлено однообразием нашего взгляда на вещи, а отчасти есть также дело случая.

6. Различие между видами энергии и пределы применения принципа сохранения энергии

От каждого количества теплоты Q, совершающего работу при обратимом (без потерь) процессе между абсолютными температурами T_1, T_2, только часть $\dfrac{T_1 - T_2}{T_1}$ превращается в работу, а остальная часть перево-

[1] Сознательно сходство между температурой и уровнем работы было установлено лишь *У. Томсоном* (1848, 1851).

дится на более низкий уровень T_2. Эта переведенная часть может быть снова поднята на уровень T_1 с затратой произведенной работы при обращении процесса. Если же процесс необратим, то на низший уровень переходит больше теплоты, чем в предыдущем случае, и этот излишек уже не может быть *поднят без дополнительной* затраты до T_1. Поэтому *У. Томсон* указывал на то, что при всех необратимых процессах, т. е. при всех действительных процессах, известное количество теплоты пропадает для механической работы, что, следовательно, в этих случаях происходит *рассеяние* или *уничтожение механической энергии.* Теплота всегда лишь отчасти переходит в работу, но работа *часто всецело* переходит в теплоту. Существует, таким образом, в мире *тенденция* к уменьшению механической энергии и к увеличению энергии тепловой.

Для простого замкнутого кругового процесса (без потерь), в котором количество теплоты Q_1 отнимается с уровня T_1, а количество Q_2 передается уровню T_2, имеет силу, согласно уравнению 2, отношение $\frac{-Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0$.

Для произвольно сложного кругового процесса *Клаузиус*, аналогично находит алгебраическую сумму $\sum \frac{Q}{T} = 0$, а если температура непрерывно меняется, то:

$$\int \frac{dQ}{T} = 0. \tag{4}$$

При этом отнятые от данного уравнения элементы количества теплоты считаются отрицательными, а сообщенные — положительными. Если процесс необратим, то для него численное значение выражения 4 увеличивается. Выражение это *Клаузиус* называет энтропией. В действительности так бывает всегда и потому *Клаузиус* видит себя вынужденным выставить следующие положения:

1) Энергия мира остается постоянной.

2) Энтропия мира стремится к *maximum'у.*

Раз выяснено сходство в проявлении различных видов энергии, отмеченная здесь особенность энергии теплоты не может не броситься в глаза и показаться странной. Откуда же она берется, если всякая вообще энергия только отчасти переходит в другую форму, точно так же, как и энергия тепловая? Объясняется это следующим образом.

Всякое превращение какого либо вида энергии A бывает связано с падением потенциала этого вида энергии. Не составляет из этого исключения и энергия тепловая. Но в других видах энергии происходит и обратное, т. е. с падением потенциала связано превращение, а потому

и потеря энергии. С теплотой же дело происходит иначе: здесь может быть падение потенциала без — по крайней мере, по обычной оценке — потери энергии. Если падает какой-нибудь груз, он должен произвести кинетическую энергию, или теплоту, или какую-нибудь другую энергию. И в случае электрического заряда не может быть падения потенциала без потери энергии т. е. без превращения. Теплота же может переходить с падением температуры на тело, обладающее большей теплоемкостью, и оставаться той же тепловой энергией, если только рассматривать всякое количество теплоты, как энергию. Вот именно это обстоятельство придает теплоте во многих случаях наряду с характером энергии характер (материального) вещества, некоторого количества.

Если посмотреть на дело беспристрастно, то не может не возникнуть вопрос, есть ли вообще научный смысл и цель рассматривать еще, как энергию, количество теплоты, которое не может быть уже превращено в механическую работу (например, теплоту замкнутой системы тел с совершенно равномерно распределенной температурой). Очевидно, что в этом случае принцип сохранения энергии играет совершенно праздную роль, которая достается ему, только благодаря привычке. Ясно, следовательно, что кто удерживает принцип сохранения энергии, сознавая в то же время рассеяние или уничтожение механической энергии, как и усиление энтропии, тот позволяет себе приблизительно ту же вольность, которую позволил себе *Блэк*, когда он принимал теплоту плавления за существующую, но *скрытую*.

Позволю себе еще заметить, что выражения «энергия мира» и «энтропия мира» носят на себе следы схоластики. Энергия и энтропия суть понятия меры. Какой же может быть смысл применять эти понятия к случаю, к которому они вовсе не применимы, в котором значения их не поддаются определению?

Если бы действительно существовала возможность определить энтропию мира, эта энтропия представляла бы настоящую абсолютную меру времени. Отсюда лучше всего видно, что это только тавтология, когда говорят: энтропия мира возрастает вместе со временем. В том-то и дело, что то, что известные изменения происходят только в одном определенном направлении, и факт времени есть одно и то же.

7. Источники принципа сохранения энергии

Мы достаточно теперь подготовлены, чтобы дать ответ на вопрос об источниках принципа сохранения энергии. Источником всякого по-

знания природы является в последнем счете только опыт. В этом смысле правы, поэтому, те, которые и в принципе сохранения энергии усматривают результат опыта.

Из опыта мы знаем, что чувственные элементы α, β, γ, δ, ..., на которые может быть разложен мир, подвержены изменениям. Далее из опыта уже известно, что одни из этих элементов связаны с другими так, что они появляются и исчезают вместе, или что появление элементов одного рода бывает связано с исчезновением элементов другого. Будем здесь избегать понятий причины и следствия, ввиду расплывчатости и неопределенности их. Результат опыта может быть выражен следующим образом: чувственные элементы мира $(\alpha, \beta, \gamma, \delta, \ldots)$ оказываются в зависимости друг от друга. Лучше всего представлять себе эту взаимную зависимость так, как представляют себе в геометрии взаимную зависимость сторон и углов треугольника, например, но только гораздо многообразнее и сложнее.

Приведем пример. Пусть масса некоторого газа занимает в цилиндре определенный объем (α). Давлением (β) на поршень мы изменяем этот объем и, ощупывая цилиндр рукой, мы получаем тепловое ощущение (γ). С увеличением давления уменьшается объем и усиливается тепловое ощущение.

Различные факты опыта не вполне равны друг другу. Общие им чувственные элементы выступают вследствие процесса абстракции и запечатлеваются в памяти. Это приводит к появлению сходства между целыми группами фактов. Уже самое простое положение, которое мы можем только выразить, есть, благодаря природе нашей речи, такая абстракция. Но нам приходится считаться с различиями, существующими между родственными фактами. Факты могут быть так сходны между собой, что они содержат один и тот же род α, β, γ, ... и что α, β, γ, ... одного из них отличается от других только числом равных частей, на которые он может быть разложен. Когда нам удается установить правила, по которым численные величины α, β, γ, ... могли бы быть выведены друг из друга, мы имеем выражение самое общее и вместе с тем учитывающее все различия какой-нибудь группы фактов. Это и есть цель количественного исследования.

Раз эта цель достигнута, то мы нашли, что между α, β, γ, ... какой-нибудь группы фактов или между численными их величинами существует известное число уравнений. Факт изменения предполагает, что число этих уравнений должно быть меньше числа α, β, γ, ... Если пер-

вое число на одно уравнение меньше второго числа, то одна часть α, β, γ, ... однозначно определена другой.

Констатирование отношений подобного рода есть важнейший результат экспериментального специального исследования, потому что оно дает нам возможность факты, данные нам отчасти, восполнять в мыслях. Само собою разумеется, что только из опыта мы можем узнать, что между α, β, γ, ... вообще существует какие-нибудь отношения и какого рода эти последние.

Далее, только из опыта мы можем узнать, что между α, β, γ, ... существуют такие отношения, что наступившие изменения их могут быть снова восстановлены. Нетрудно видеть, что не будь этого обстоятельства, не существовало бы никакого повода и к установлению принципа сохранения энергии. *В опыте, следовательно, заключается последний источник всякого познания природы, а следовательно, и в этом смысле, источник и принципа сохранения энергии.*

Это не исключает, однако, того, чтобы принцип сохранения энергии имел и *логический корень*, что мы сейчас и покажем. Предположим на основании данных опыта, что группа чувственных элементов α, β, γ, ... *однозначно* определяет другую группу λ, μ, ν, ... Далее из опыта также известно, что изменения α, β, γ, ... могут быть снова восстановлены. *Логическим* выводом отсюда является, что всякий раз, когда α, β, γ, ... получают одни и те же значения, то же самое происходит и с λ, μ, ν, ..., или что одни *периодические* только изменения α, β, γ, ... не могут привести к постоянному изменению λ, μ, ν, ... Если группа λ, μ, ν, ... относится к области механики, то этим выводом *исключается perpetuum mobile.*

Могут сказать, что это только circulus vitiosus (порочный круг), и с этим можно сейчас же согласиться. Но психологически ситуация все же существенно другая, думаю ли я только об однозначной определенности и обратимости процессов или я исключаю *perpetuum mobile.* Внимание мое в обоих случаях направлено *различно* и бросает свет на *различные* стороны вещи, которые логически, правда, необходимо связаны между собой.

Строго логический строй мыслей великих исследователей (Стевин, Галилей), сознательно или инстинктивно руководствующихся тонким чутьем, усматривающим малейшие противоречия, не имеет, без сомнения, никакой другой цели, кроме одной: лишить, так сказать, мысль известной степени свободы и тем самым устранить хоть некоторую воз-

можность ошибки. Этим нам дан логический корень принципа исключенного *perpetuum mobile*, т. е. то общее убеждение, которое существовало даже до развития механики и играло известную роль в самом этом развитии.

Вполне естественно, что принцип исключенного *perpetuum mobile* достиг признания в менее сложной сравнительно области чистой механики. Перенесению его в область всей физики вообще содействовала та мысль, что все физические явления представляют собой, собственно, явления механические. Предыдущее показывает, однако, как несущественно это представление. Важно здесь скорее познание всеобщей связи явлений природы. Раз эта последняя установлена, то становится очевидным, как это и познал *Карно*, что не так важно, проявляются механические законы непосредственно или косвенным путем.

Принцип исключенного *perpetuum mobile* очень близок к современному принципу сохранения энергии, но он не тождественен с ним, потому что этот последний вытекает из него только при особом формальном понимании. Для исключенного *perpetuum mobile*, как это явствует из предыдущего, нет необходимости пользоваться понятием работы или даже только знать об этом понятии. Современный же принцип сохранения энергии является результатом субстанциального понимания работы и всякого вообще изменения в физическом состоянии, освобождающего в случае обратного процесса работу. Сильная потребность в таком понимании, вовсе не необходимом, но формально очень удобном и наглядном, наблюдается у *Р. Майера* и *Джоуля*. Было уже замечено, что обоим исследователям очень близко стало это понимание после наблюдения, что, как получение теплоты, так и механическая работа связаны с тратой вещества. *Майер* говорит: «ex nihilo nil fit», а в другом месте: «создание или уничтожение силы (работы) лежит вне области человеческого действия». У *Джоуля* мы находим следующее место: «Очевидным абсурдом является предположение, будто силы, которыми Бог наделил материю, могут быть разрушены». (It is manifestly absurd to suppose that the powers with which God has endowed matter can be destroyed). В этих положениях хотели видеть попытку метафизического обоснования учения об энергии. Я же вижу в них только формальную потребность в наглядном, поддающемся обзору, простом вычислении, потребность, получившую развитие в области практической жизни и перенесенную затем, насколько это было возможно, в область науки. В самом деле, *Майер* пишет *Гризингеру*: «Наконец, если ты спросишь

меня, как я пришел к этому, то вот весь ответ: во время своего морского путешествия я был почти исключительно занят изучением физиологии и принял новое учение на том достаточном основании, *что живо почувствовал потребность в нем*» . . .

Субстанциальное понимание работы (энергии) отнюдь не *необходимо* и нельзя сказать, чтобы потребность в такого рода понимании уже разрешала задачу. Напротив, мы видим, как *Майер* работает над постепенным удовлетворением своей потребности. Он считает первоначально количество движения ($m.v.$) эквивалентным работе и только впоследствии приходит к мысли о живой силе. В области электричества он не мог найти выражения, эквивалентного работе. Это сделал позже *Гельмгольц.* Таким образом, сначала существует формальная потребность и воззрение на природу только постепенно к ней приспосабливается.

Вскрытие экспериментального, логического и формального корня современного принципа сохранения энергии должно существенным образом содействовать устранению мистики, от которой все еще не свободен этот принцип. Что касается нашей формальной потребности в простейшем, нагляднейшем субстанциальном понимании процессов в окружающей нас среде, то остается еще открытым вопрос, насколько природа отвечает ей, или в какой мере мы можем удовлетворить ей. На основании одного из предыдущих рассуждений, следует думать, что субстанциальное понимание принципов энергии, подобно субстанциальному воззрению на теплоту *Блэка*, имеет свои естественные границы в фактах, за пределами которых оно может быть удержано только искусственно.

Глава 9

О явлениях полета пуль[1]

В наше время люди чувствуют себя обязанными нанести друг другу — порой ради целей и идеалов весьма сомнительного свойства — в самое короткое время возможно больше ран. Другой же идеал, стоящий к прежним большей частью в самом резком противоречии, обязует их вместе с тем делать эти раны возможно меньшего калибра, а нанесенные — возможно быстрее залечивать.

Ввиду этих обстоятельств стрельба и все, что с ней связано, играет весьма важную, а порой важнейшую даже в современной нашей жизни. Поэтому вы уделите мне, я надеюсь, на час свое внимание, чтобы познакомиться с некоторыми опытами, предпринятыми, правда, не с военными, а с научными целями и проливающими некоторый свет на явления, происходящие при стрельбе.

Современное естествознание стремится построить свою картину мира не на спекулятивных умозрениях, а по возможности на фактах наблюдения: свои конструкции он проверяет тоже при помощи наблюдений. Каждый новый факт дополняет эту картину мира, а всякое разногласие между ее конструкцией и фактами наблюдения наводит на мысль о несовершенстве, о пробеле в ней. Увиденное проверяется и дополняется мыслимым, которое есть в свою очередь не более, как результат увиденного уже раньше. Поэтому представляет особую прелесть делать непосредственно доступным проверке через наблюдение, т. е. доступным восприятию то, к чему пришли — умозаключениями ли или допущениями — чисто теоретическим путем.

В 1881 г. мне пришлось присутствовать в Париже на лекции бельгийского баллистика *Melsens'a*. Между прочим он высказывал предположение, что пули, обладающие большой скоростью, двигают впереди себя массы сгущенного воздуха, которые и вызывают, по его мнению, в достигаемых ими телах известные взрывные действия. У меня появилось тогда желание проверить эти представления на опыте и сделать весь процесс, если таковой существует, доступным чувственному вос-

[1] Доклад, прочитанный 10-го ноября 1897 г. в союзе для распространения естественно-научных знаний в Вене.

приятию. Это желание мое подкрепилось еще тем соображением, что все необходимые для того средства имеются уже наготове, а некоторые из них были применены и испытаны мною уже при других работах.

Выясним сначала затруднения, стоящие на пути достижения этой цели. Нам нужно наблюдать пулю, скорость движения которой превышает много сотен метров в секунду, вместе с изменениями, которые она вызывает в окружающем ее воздухе. Само непрозрачное твердое тело, пуля, видно при таких условиях в исключительных случаях: когда оно бывает значительной величины, и когда мы путь полета видим в сильном перспективном сокращении, так что скорость кажется как будто весьма уменьшенной. Пуля достаточной величины видна довольно хорошо, если, ставши позади орудия, направить взгляд свой по направлению ее полета или — случай менее удобный и приятный — если пуля летит на вас. Тем не менее есть весьма простое и радикальное средство, дающее возможность с удобством наблюдать весьма быстро движущиеся тела, как будто бы они в одном каком-нибудь месте своего пути оставались неподвижными. Средство это — освещение его сильно светящейся электрической искрой чрезвычайно краткой продолжительности, разумеется, в темноте. Но для того, чтобы вполне схватить какое-нибудь изображение, необходимо известное, довольно значительное время. Поэтому лучше будет, конечно, воспользоваться для фиксации этого столь кратковременного изображения моментальной фотографией, после чего можно полученное изображение с полным удобством рассматривать и анализировать. Этими средствами мы и воспользуемся в действительности.

К этому первому затруднению присоединяется еще одно, большее. Воздух обыкновенно вообще не виден, даже когда он находится в покое. Здесь же необходимо, чтобы виден был воздух, движущийся с очень большой скоростью.

Для того чтобы тело было видно, оно должно или само испускать свет, светиться, или как-либо влиять на падающий на него свет, поглощать его совсем или отчасти, отклонять его, отражать или преломлять. Видеть воздух светящимся невозможно, ибо он светится только в исключительных случаях, в гейслеровой трубке, например. Воздух весьма прозрачен и бесцветен и потому его нельзя так же видеть, как мы видим темное или цветное тело, подобно парам хлора, брома или йода. Наконец, показатель преломления воздуха столь мал, он столь мало отклоняет свет, что это совсем не замечается.

Стеклянный стержень в воде или в воздухе мы видим. Но мы почти не видим его, если поместить его в смесь бензола и серо-углерода, средний показатель преломления которой равен показателю преломления стекла. Порошок стекла, помещенный в ту же смесь, обнаруживает яркий цвет, потому что равенство показателей преломления вследствие рассеивания света существует только для одного цвета, который беспрепятственно и проходит через смесь, между тем как другие цвета испытывают всевозможные отражения[1].

Вода в воде, спирт в спирте не видны. Но если смешать спирт с водой, то сейчас же видны хлопья спирта в воде или наоборот. Так можно при благоприятных условиях увидеть и воздух. Если смотреть на предметы над крышей, освещенной и нагретой солнцем, или над нагретой печью, употребляющейся обыкновенно, когда делаются асфальтовые мостовые, то представляется впечатление какого-то мерцания, будто предметы дрожат в воздухе: здесь смешиваются нагретый воздух с холодным, показатели преломления которых сильно отличаются.

Так и в неравномерном стекле можно рассмотреть сильнее отклоняющие свет части, полосы, в массе, слабее отклоняющей свет. Такие стекла не годятся для оптических целей. Вследствие этого было обращено особое внимание на изучение их с целью их исключения, что и привело к развитию весьма точного метода исследования (Schlierenmethode; Schlieren-полосы), пригодного для наших целей.

Еще *Гюйгенс* для распознавания этих полос наблюдал обточенные стекла при непрямом освещении и на большом расстоянии, чтобы лучше заметить действие отклонений, которое и наблюдал при помощи зрительной трубы. Но до высшего совершенства метод этот развит *Теплером*, у которого он принимает следующий вид.

Небольшой источник света a (см. рис. 30) освещает чечевицу L, которая и отбрасывает от первого небольшое изображение b. Если теперь поместить глаз так, чтобы изображение это падало в зрачок его, то вся чечевица, если она вполне совершенна, кажется освещенной равномерно, потому что все места ее отражают лучи в глаз.

Грубые недостатки в форме или равномерности стекла только тогда замечаются, когда отклонения настолько сильны, что свет некоторых мест проходит мимо зрачка. Но если более или менее заслонить изображение b краем небольшой ширмы, то в чечевице, менее ярко освещенной, те места, лучи которых вследствие более сильного отклонения

[1] Christiansen, Wiedemanns Annalen XXIII, стр. 298, XXIV, стр. 439 (1884, 1885).

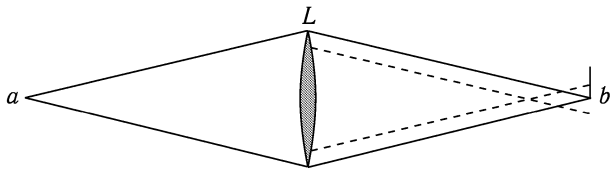


Рис. 30

падают в глаз еще рядом с заслонкой, кажутся светлее, а те места, лучи которых в противоположность падают на заслонку, кажутся темнее. Этот прием с заслонкой применял уже *Фуко* для исследования недостатков зеркал и он значительно увеличивает чувствительность исследователя. Еще больше повышает эту чувствительность зрительная труба, употребляемая *Темплером* позади заслонки. В методе *Темплера*, следовательно, объединяются преимущества методов *Гюйгенса* и *Фуко*.

Этот метод столь чувствителен, что с его помощью можно ясно заметить даже ничтожную неравномерность воздуха вблизи чечевицы. Приведу в пояснение один только пример.

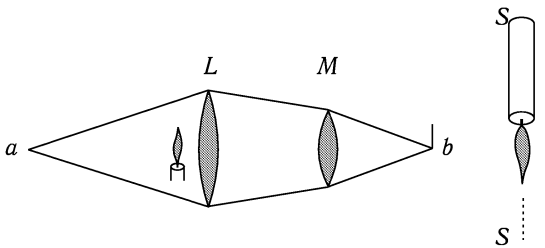


Рис. 31

Я помещаю свечу перед чечевицей L, а вторую чечевицу M помещаю так, что на ширме S появляется изображение пламени свечи. Если в фокусе b, исходящего из a, света поместить заслонку, то на ширме видны изображения всех вызванных пламенем свечи изменений в плотности воздуха и его движений. Ясность всего явления зависит от места заслонки b. Если ее удалить, все делается ясным. Если удалить источник света a, мы видим только изображение пламени свечи на ширме S. Если a светится без пламени, ширма S равномерно освещена.

Долгое время *Теплер* тщетно пытался сделать при помощи этого прибора неравномерное состояние воздуха, вызванное звуками. Наконец, ему посчастливилось констатировать такие звуковые волны при исследовании электрической искры. Вызванный электрической искрой в воздухе и сопровождающие ее звук волны настолько коротки и сильны, что их можно видеть при помощи этого метода.

Так тщательным изучением следов какого-нибудь явления и весьма постепенными целесообразными небольшими изменениями условий и методов могут быть в конце концов достигнуты совершенно неожиданные результаты. Человеку, который знал бы, например, только явление, наблюдаемое при трении янтаря и электрическое освещение на улицах, но не знал бы всех промежуточных ступеней, ведущих от одного факта к другому, эти два факта казались бы столь же чуждыми друг другу, какими кажутся ящероптица и птица обыкновенному наблюдателю, незнакомому с эмбриологическими, анатомическими и палеонтологическими промежуточными членами. Примеры эти ярко иллюстрируют все великое значение общей работы исследователей на протяжении столетий, когда каждый может исходить из работы своих предшественников и вести ее дальше. Они же разрушают в глазах стороннего наблюдателя впечатление чудесного и вместе с тем исцеляют работника на ниве науки от высокомерия. Прибавлю еще сюда то отрезвляющее замечание, что все умение и знание научных исследователей были бы тщетны, если бы сама природа не обнаруживала слабые, по крайней мере, нити, ведущие от процесса, остающегося еще скрытым, в область явлений, поддающихся наблюдению. Если мы все это примем в соображение, нас не будет удивлять недавнее, например, краткое сообщение *Boys* о том, как очень мощная звуковая волна, вызванная взрывом нескольких сот фунтов динамита, отбрасывает при свете солнца тень, поддающуюся непосредственному наблюдению. Если бы звуковые волны не оказывали абсолютно никакого влияния на свет, то этого быть не могло бы, но тогда и все наше искусство оказалось бы тщетным. Так и явления полета пуль, которые я хочу продемонстрировать перед вами, удалось наблюдать, правда, весьма несовершенным образом, французскому баллистику *Journee*, наблюдавшему их просто в зрительную трубу. Так ведь и описанные выше явления со свечей лишь слабо поддаются непосредственному наблюдению, а при ярком солнечном свете дают теневое изображение на равномерного белого цвета стене.

Моментальное освещение при помощи электрической искры, метод *Темплера* и фотографирование — вот те вспомогательные средства, при помощи которых мы можем достичь своей цели.

Летом 1884 года я произвел первые свои опыты с пистолетом. На пути пули я помещал соответственный аппарат и кроме того устраивал дело так, чтобы пуля, находясь в поле действия этого аппарата, освобождала электрическую искру, которая и фиксировала бы это изображение в фотографическом аппарате. Изображение пули я получил сейчас без особых затруднений. Нетрудно мне было получить также при помощи сухих пластинок, тогда еще не вполне хороших, весьма тонкие изображения звуковых волн. Но сгущения воздуха, вызванного пулей, мне получить не удалось. Исследовав скорость движения пули, я нашел ее равной 240 метрам в секунду, т. е. значительно меньшей скорости звука (340 метров в секунду), оно движется скорее пули и ускользает от наблюдения.

Будучи вполне убежден в том, что предполагаемый мной процесс можно было бы наблюдать в случае скорости движения пули, превышающей 340 метров в секунду, я попросил профессора *Salcher'a* в Фиуме произвести такой опыт с пулей большей скорости движения. Летом 1886 года *Salcher* вместе с профессором *Риглером* произвели такие опыты в подходящем месте, отведенном властями морской королевской академии, устроив их таким же образом, как я, и предполагавшийся результат не заставил себя долго ждать. Явление даже по форме соответствовало тому рисунку, который я набросал до опытов. При дальнейших опытах удалось наблюдать и новые еще, неожиданные стороны явления.

Было бы, конечно, слишком много требовать, чтобы первые же опыты дали весьма совершенные и во всех местах ясные изображения. Достаточно было и то, что успех был обеспечен и что я мог быть уверенным в том, что дальнейшая трата времени и сил не пропадут даром, за что я обязан благодарностью обоим этим профессорам.

Морская секция военного министерства представила тогда в распоряжение *Salcher'a* пушку для нескольких выстрелов в городе Пола. Я же сам, по любезному приглашению фирмы Круппа, отправился в сопровождении моего сына, тогда еще студента-медика, в Меппен, где мы при помощи аппаратов, оказавшихся необходимыми для опытов в открытом поле, произвели несколько опытов и получили уже довольно хорошие и полные изображения. Были при этом сделаны некоторые незначительные нововведения. Но приобретенный здесь опыт укрепил

нашу уверенность в том, что действительно хорошие результаты могут быть получены только при условии самого тщательного исполнения опытов в специально для этой цели, хорошо оборудованной лаборатории. Не имеет здесь также значение дороговизна средств, ибо размеры пуль, например, решающего значения не имеют. При одних и тех же скоростях полета пуль результаты получаются одни и те же, велики ли пули или малы. Но при опытах в лаборатории, раз она уже устроена, можно по произволу изменять первоначальную скорость, изменяя заряд и вес пули. Такие опыты были произведены в моей парижской лаборатории отчасти мной самим в сотрудничестве с моим сыном, и отчасти им одним впоследствии. Последние были наиболее совершенны и только на них одних мы и остановимся здесь несколько подробнее.

Итак, представьте себе следующее устройство опыта, в темной комнате, конечно.

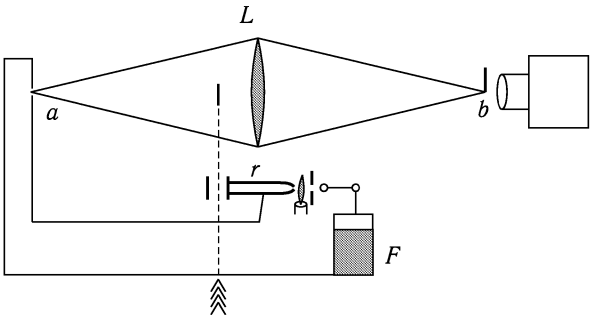


Рис. 32

Чтобы описание не вышло слишком сложным, я ограничусь самым существенным, а более мелкие подробности, более важные для техники опыта, чем для понимания, отпущу. Итак, пуля пролетает поле нашего аппарата. Когда она находится в середине нашего поля, освобождается электрическая искра, и фотографическая камера, находящаяся позади заслонки, фиксирует изображение. В последних и лучших опытах чечевица L была заменена сферическим, покрытым серебром, стеклянным зеркалом, благодаря чему комбинация аппаратов стала, естественно, несколько сложнее, чем она изображена здесь. Освобождение электрической искры происходит первоначально. Две вертикальные проволоки,

соединенные с обкладками лейденской банки, были помещены рядом в поле так, что пуля, хорошо направленная, пролетала между ними и, заполнив между ними пространство, замыкала цепь и разряжала банку. Но в цепи был еще один перерыв a в оси аппарата, дающий светящуюся искру, изображение которой падало на заслонку b (см. рис. 32). Эти проволоки в поле причиняли кое-какие затруднения и потому были впоследствии устранены. В новой постановке опыта пуля летит сквозь наклеенное бумагой деревянное кольцо. Здесь она вызывает сотрясение воздуха, которое в качестве звуковой волны распространяется со скоростью света, т. е. 340 метров в секунду, в трубке r. Достигнув другого конца трубки, воздух силой своего напора выбрасывает пламя свечи сквозь отверстие электрической ширмы и таким образом, сомкнув цепь, вызывает разряд банки. Длина трубки выбрана так, чтобы разряд этот произошел тогда, когда пуля будет находиться как раз в поле зрения, которое теперь уже остается свободным и чистым. Чтобы лучше обеспечить успех, дело устраивается так, что пламя разряжает большую банку F, а этот разряд вызывает лишь весьма кратковременный разряд небольшой банки, освещающий полет пули, но эту подробность мы здесь опустили. Продолжительность разряда больших банок — довольно заметная уже, а так как скорость полета пуль весьма велика, то изображения получаются здесь неясные. Вследствие экономного употребления света в аппарате, а также и того обстоятельства, что на фотографическую пластинку при этом падает гораздо больше света, чем без аппарата, удается с невероятно малыми искрами получать прекрасные, мощные и вместе с тем ясные снимки. Контуры изображений выступают в виде весьма тонких, ясных, очень близко соприкасающихся двойных линий. Из расстояния между ними и скорости полета пули можно вычислить продолжительность освещения или продолжительность искры; она найдена равной $^1/_{800000}$ секунды. Отсюда ясно, между прочим, почему аналогичные опыты с механическими моментальными затворами не могли дать более или менее удовлетворительные результаты.

Рассмотрим теперь изображение полета пули сначала на схеме (см. рис. 33) и потом на фотографическом снимке (см. рис. 34), который я проецирую на экран по негативу оригинала. Для последнего изображения выстрел был сделан из австрийского ружья Маннлихера. Не скажи я вам, что здесь изображено, вы могли бы подумать, что это быстро несущаяся по воде лодка, сфотографированная с высоты птичьего полета. Спереди вы видите волны у передней части лодки (ww),

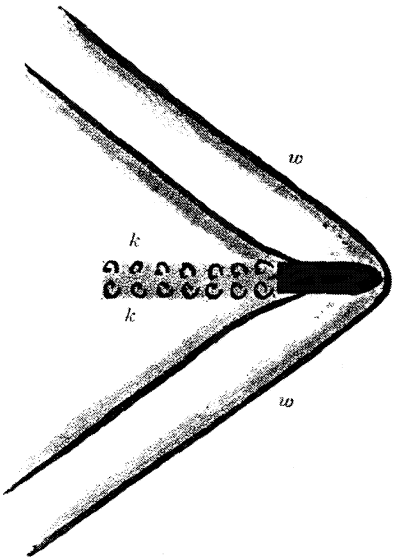


Рис. 33

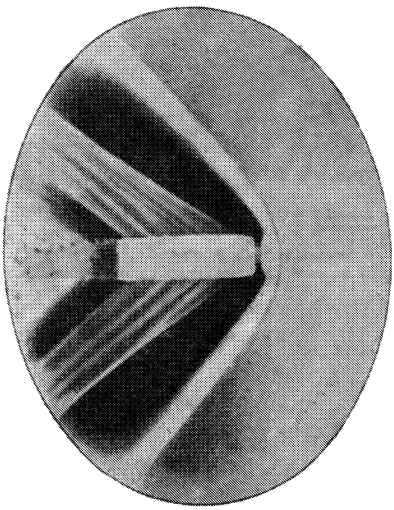


Рис. 34

а задняя часть kk весьма напоминает волнение воды, произведенное рулем. И действительно, светлая, напоминающая гиперболу дуга у верхушки пули есть волна сгущенного воздуха, вполне аналогичная волне у носа корабля, с той только разницей, что первая не есть волна поверхностная. Она образуется в воздушном пространстве и окружает пулю со всех сторон наподобие колокола. Волна становится видимой таким же образом, как в предыдущих опытах нагретая оболочка воздуха, окружающая пламя свечи. А цилиндр из нагретого трением воздуха, который выделила пуля в форме вихревых колец, действительно напоминает кильватер.

Медленно движущаяся лодка не вызывает никаких волн впереди себя: чтобы эти волны образовались, лодка должна двигаться со скоростью, превышающей скорость распространения водяных волн. Так и впереди пули нет волн сгущенного воздуха, если скорость ее полета не превышает скорость распространения звука. Но вот первая скорость достигает второй и начинает ее превышать, и головная волна заметно возрастает в мощности, становясь вместе с тем все более и более растянутой, т. е. угол, образуемый контурам волны с направлением полета пули, становится все меньше. Нечто подобное же наблюдается, когда скорость движения лодки возрастает. По полученному описанным

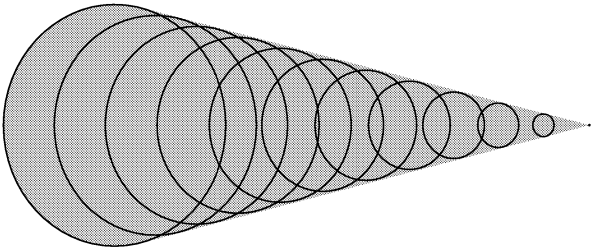


Рис. 35

образом моментальному изображению можно приблизительно оценить скорость полета пули.

В основе объяснения волны у носа корабля и головной волны лежит принцип, примененный *Гюйгенсом.* Представьте себе, что вы бросаете в воду камешки в правильном темпе так, что места, куда вы попадаете, лежат на одной прямой линии и что каждое последующее место лежит на определенном расстоянии вправо от предыдущего. В первых местах получаются самые широкие круги, а все вместе, там где они всего гуще, образуется некоторое сгущение, напоминающее волну у носа корабля. Сходство будет тем больше, чем меньше камни вы будете бросать и чем быстрее вы будете бросать их один за другим. Если вы опустите палочку в воду и будете ее вести по поверхности, то в бросании камушек не будут происходить, так сказать, перерывы и вы получите как раз такую волну, какая образуется у носа плывущего корабля. Если вы поверхностные волны воды замените волнами сгущенного воздуха, вы получите головную волну, образующуюся при полете пули (см. рис. 35).

Вы можете мне сказать: все это прекрасно, весьма интересно наблюдать пулю во время ее полета, но какое это имеет практическое значение?

На это отвечу вам: воевать при помощи пуль сфотографированных, конечно, невозможно! Таким же образом мне часто приходилось отвечать моим слушателям-медикам, когда они задавали мне вопрос о практическом значении какого-нибудь физического наблюдения: лечить, господа, этим невозможно! Подобным же образом мне пришлось раз ответить на вопрос, в каком объеме нужно проходить физику в школе для мельников, если ограничиваться самым для них необходимым. Мне пришлось тогда ответить: мельнику всегда окажется нужным

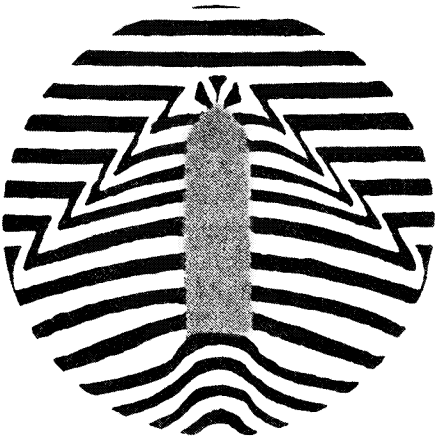


Рис. 36

столько физики, сколько он будет знать ее. Знанием, которым не обладаешь, пользоваться, конечно, невозможно.

Всякий научный процесс, всякое разъяснение, всякое расширение или обогащение наших знаний фактов вообще создает лучшие условия и для практической деятельности. Но оставим это общее положение в стороне и зададимся частным вопросом: можем ли мы извлечь какую-нибудь пользу из более точного знания процессов, происходящих при полете пули?

Ни один физик, занимавшийся изучением звуковых волн и фотографированием этой волны, не усомнится в том, что сгущения воздуха впереди пули по природе своей сходны с звуковыми волнами. Мы поэтому и не задумались назвать эти сгущения головной волной. Но раз это вне сомнения, то не правильно представление *Melsens'a*, по которому пуля увлекает за собой массы воздуха, которые она и вдавливает в поражаемое ей тело. Распространяющаяся звуковая волна не есть движущаяся вперед масса, поступательное движение определенного характера, как и водяная волна, или волна ржаного поля есть лишь поступательное движение определенной формы, но не движение вперед воды или ржи.

Кроме того, некоторые опыты с интерференцией света, на которых я здесь подробно останавливаться не могу, но результат которых схематически изображен на рисунке 36, доказали, что колоколообразная

головная волна представляет собой очень тонкую оболочку и что сгущения ее не велики, едва ли превышают $0,2$ одной атмосферы.

Таким образом о том, чтобы взрыв в теле, поражаемом пулей, происходил вследствие давления воздуха, не может быть и речи. Следовательно, явления в огнестрельных ранах, например, следует рассматривать как результат давления самой пули.

В какой мере невелика роль, которую играет здесь трение воздуха, то, что пуля, будто бы, при своем движении увлекает за собой массы воздуха, показывает следующий простой опыт. Фиксируют изображение пули в то время, когда она пересекает в своем полете какое-нибудь пламя, т. е. видимый газ. Пламя не разрывается и не деформируется, а пробуравливается пулей, как твердое тело. Внутри и вне пламени видны контуры головной волны. Разгорается или тухнет пламя только впоследствии, после того, как пуля давно пролетела под действием следующих за ней пороховых газов или находящегося перед ними воздуха.

Физик, рассматривающий головную волну и знающий, что она по природе своей сходна с звуковой волной, видит вместе с тем, что она относится к тому же типу волн, к которому относятся и короткие, сильные волны, вызванные искрой, что это — *волна, сопровождаемая треском.* Таким образом, когда часть головной волны достигает уха, последнее должно расслышать треск. Похоже на то, будто пуля движется с треском. Кроме этого треска, движущегося со скоростью полета пули, большей обыкновенно, чем скорость распространения звука, должен быть еще слышен треск пороховых газов, распространяющийся с обыкновенной скоростью звука. Слышны, следовательно, два различных по времени взрыва. Этот факт долгое время оставался совсем неизвестным людям практики, а когда он стал известен, находил порой весьма рискованное объяснение. Это обстоятельство, как и тот факт, что в конце концов было признано правильным мое объяснение, служат, мне кажется, достаточным доказательством того, что подобного рода исследования не остаются совершенно бесполезными и в практическом отношении. Что явлениями треска и искры пользуются для оценки расстояния, на котором находятся батареи, из которых палят, общеизвестно. Очевидно также, что неясное теоретическое объяснение процессов может повредить и правильности практической оценки.

Всякому, кто впервые это слышит, может показаться довольно странным, что один выстрел вызывает двойной треск и притом двух

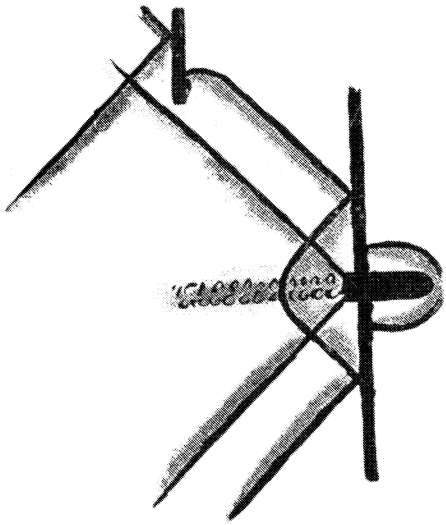


Рис. 37

различных скоростей распространения. Но вспомним, что пули, скорость которых меньше скорости распространения звука, не вызывают никаких головных волн, ибо каждый сообщенный воздуху импульс распространяется со скоростью звука и, следовательно, летит впереди пули. Это соображение, если последовательно развить его, объясняет нам и упомянутое, странное с первого взгляда, явление. Если пуля движется скорее, чем распространяется звук, то воздух на может поспевать за ней. Он сгущается и нагревается, вследствие чего возрастает, как известно, скорость звука, пока скорость распространения звуковой волны не достигнет скорости полета пули, и причина дальнейшего возрастания скорости распространения звуковой волны исчезает. Если бы такая волна была предоставлена самой себе, она удлинилась бы и превратилась в обыкновенную звуковую волну с меньшей скоростью распространения. Но пуля находится позади ее, поддерживая ее сгущенность и скорость. Если даже пуля пробивает картон или доску, так что головная волна задерживается, то на пробивающемся острие пули сейчас же образуется новая, молодая, можно сказать, головная волна (см. рис. 37). На картоне можно наблюдать отражение и отклонение, а на пламени — преломление головной волны,

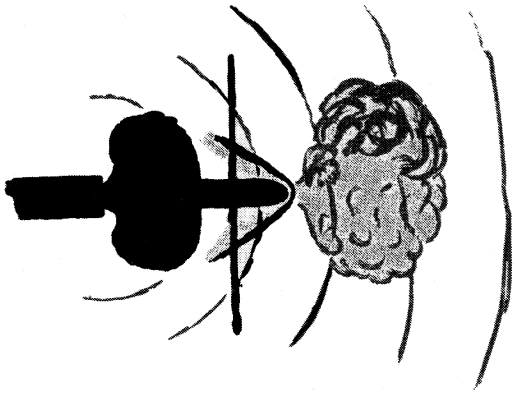


Рис. 38

так что относительно природы ее не может быть ни малейшего сомнения.

Я позволю еще самое существенное из всего сказанного выше иллюстрировать одним схематическим рисунком, набросанным по более старым, менее совершенным фотографиям. На рисунке 38 вы видите пулю, которая только что оставила дуло ружья и, прикоснувшись к проволоке, разрядила банку и вызвала светящуюся искру. Вы видите у заостренного начала ее начатки мощной головной волны, но впереди ее — прозрачный грибообразный клубок. Это — воздух, вытесненный пулей из дула ружья. Исходят также из этого дула дугообразные звуковые волны, сопровождающиеся треском, но они скоро обгоняются пулей. Позади пули движется непрозрачный гриб пороховых газов.

Вряд ли можно указывать на то, что, руководствуясь этим методом, можно изучить и другие вопросы, относящиеся к баллистике, как, например, движение лафета во время стрельбы и т. д.

Один выдающийся французский артиллерист, *Gossot*, воспользовался изложенными здесь представлениями насчет головной волны для другой цели. Скорость полета пуль определяется обыкновенно следующим образом: устанавливаются на различных пунктах проволочные сетки; пуля, пролетая, разрывает их и тем самым вызывает электромагнитные сигналы на падающих рельсах или вращающихся барабанах. *Gossot* устроил так, что эти сигналы вызывались непосредственно ударом головной волны; этим он сделал излишней сетку и, кроме того,

получил возможность измерить скорость полета пуль, пролетающих на большой высоте, т. е. в случаях, в которых проволочные сетки совершенно непригодны.

Законы сопротивления жидкостей и воздуха представляют собой вопросы весьма сложные. Можно, конечно, различными философским построениями весьма просто решить проблему, что делалось весьма часто. Одно и то же тело, двигаясь с удвоенной, утроенной и т. д. скоростью, вытесняет в то же время вдвое, втрое и т. д. больше воздуха или жидкости и, кроме того, сообщает ей вдвое, втрое и т. д. большую скорость. Но для этого необходима в четыре, в девять и т. д. раз большая сила. Сопротивление, следовательно, возрастает пропорционально квадрату скорости.

Все как будто очень хорошо, просто и очевидно. Вся беда в том, что практика и знать не хочет об этой простой теории; по ней оказывается, что если увеличивать скорость, то закон сопротивления изменяется. Изменениям скорости в одних пределах соответствует один закон изменения сопротивления, изменяем скорости в других пределах — другой и т. д.

Внесли в этот вопрос некоторый свет исследования гениального английского корабельного инженера *Froude'a.* Он показал, что сопротивление зависит от комбинации процессов весьма разнородных. Движущийся по воде корабль трется об воду, вызывает в ней водоворот и, кроме того, еще волны, которые и расходятся вдаль от него. Каждый из этих процессов зависит от скорости, но зависимость каждого из них другая, а потому и нет ничего удивительного, если закон сопротивления не столь прост.

Изложенные здесь наблюдения наводят на вполне аналогичные же рассуждения относительно пуль. И здесь мы имеем трение, образование вихрей и волн. Нет, поэтому, ничего удивительного, если закон сопротивления воздуха не прост. Нас поэтому не должно поражать, когда практика показывает, что закон сопротивления существенно изменяется, как только скорость полета пули превышает скорость распространения звука: ведь именно здесь только вообще начинает действовать один из элементов сопротивления, именно, образование волн.

Никто не усомнится в том, что пуля с острым концом с меньшим сопротивлением прошивает воздух. Что у таких пуль головная волна слабее, доказывают и фотографические снимки. Не невозможно поэтому, чтобы были придуманы такие формы пуль, которые обуславливали

бы более слабое образование вихрей и т. д. и чтобы относящиеся сюда процессы были изучены с помощью фотографии. Судя, однако, по тем немногим опытам, которые я произвел в этом направлении, я не думаю, чтобы при больших скоростях можно было многого еще достичь изменением формы пули, но, впрочем, подробно я этим вопросом не занимался.

Подобного рода исследования, по меньшей мере, не повредят артиллерийской практике. Это столь же несомненно, как несомненно то, что предпринятые в большом масштабе эксперименты артиллеристов наверное принесут пользу физике.

Кто имел случай познакомиться с современными огнестрельными орудиями и пулями в наиболее совершенных их формах, узнать силу и точность их действия, тот должен сознаться, что эти вещи воплощают в себе огромный технический, как и высокий научный прогресс. Впечатление это столь сильно, что порой совершенно забываешь, для каких страшных целей эти вещи предназначаются.

Позвольте мне прежде, чем расстаться, сказать еще несколько слов насчет этого контраста. Величайший воин нашего времени утверждал, что величайший мир есть сон и даже не прекрасный сон. Мы можем положиться в этих вопросах на этого великого знатока людей и прекрасно можем понять страх солдат перед тем, как бы не опуститься в случае слишком продолжительного мира. Но для того, чтобы не надеяться на существование перемены в интернациональных отношениях, необходима очень уж сильная вера в неодолимость средневекового варварства. Вспомним наших предков, вспомним эпоху кулачного права, когда в пределах одной и той же страны, одного и того же государства, люди с такой жестокостью нападали друг на друга и оборонялись. Это положение дел стало столь угнетающим, что в конце концов самые разнообразные обстоятельства привели к тому, что ему положен был конец. И больше даже всего в этом направлении было сделано пушкой. Этим кулачное право не было еще, правда, устранено из мира; оно воплотилось только в кулаки другого рода. Да и не следует также предаваться иллюзиям, которыми увлекался Руссо. В известном смысле вопросы права навсегда останутся также и вопросами силы. Весьма важно здесь только то, в чьих руках эта сила. Ведь вот даже в Соединенных Штатах, где основным принципом государства является право для всех, избирательная записка есть, согласно превосходному замечанию *И. Сталло*, лишь суррогат палки. Вы прекрасно знаете, что и некоторые из наших

сограждан очень даже любят еще старину. Но с прогрессом культуры, сношения между людьми все же, хотя очень и очень медленно, принимают более мягкие формы, и всякий, кто знает «доброе старое время», вряд ли на самом деле пожелает, чтобы оно вернулось, хотя поэзия и рисует нам его столь прекрасным.

Но в отношениях между народами старое, грубое кулачное право еще сохранилось. Но это положение дел наносит слишком уже большой вред интеллектуальным, материальным и моральным силам народов; давя с одинаковой силой в мире, как во время войны, на победителей, как на побежденных, оно становится все более и более несносным. К счастью, и мышление и обсуждение дел перестали быть исключительным достоянием тех, которые скромно причисляют себя к «верхним десяти тысяч». Как и везде, зло и здесь само пробудит интеллектуальные и этические силы, которые сумеют уменьшить его. Пусть расовая и национальная ненависть становятся все шире и вместе с тем теснее[1]. Рядом

[1] Интернациональные отношения, к счастью, все более и более развиваются. Одним из проявлений этого развития является связь между академией наук Геттингена, Лейпцига, Мюнхена и Вены, возникшая по предложению берлинских и венских ученых и по предложению лондонского Royal Society расширившаяся в интернациональный союз академий. Правда, такой союз далеко не достаточен для решения всех тех задач, которые хотел бы возложить на него с самыми благородными намерениями *F. Kemeny* (Entwurf einer internationalen Gesamt-Akademie: «Weltakademie». Leipzig 1901). В особенности мы довольно далеки еще от осуществления идей мира. В этом направлении ничего хорошего ожидать нельзя прежде всего от всех тех людей, которые для своих личных выгод сеют вражду между народами. Вспомним, далее, тот факт, что в 1870 году, когда разразилась война между французами и немцами, интерес «высших» слоев общества выразился в назначении высоких призов за первого убитого француза и первого немца. С ясностью, возбуждающей омерзение, здесь проявляется и преступная точка зрения на войну, как на спорт, и страшное пренебрежение к наиболее тяжело потерпевшей массе чужого и собственного народа, к несчастному крестьянину и рабочему. Пусть представят себе эту «благородную» точку зрения mutatis mutandis у неимущих классов и пусть попробуют — но по совести! — возмущаться последствиями, которые могли бы проистекать отсюда. Наконец, обратите внимание на множество людей среднего сословия, которые доходят до крайности, до уничтожения противника или конкурента, если это возможно, защищая свое мнимое право, а иногда вполне даже осознавая свою неправоту. Это только возмутительно, когда эти господа выступают в защиту общего мира. Для воплощения этой идеи в жизнь необходимо прежде всего идеальное этическое воспитание, этическое воззрение, которое может развиться только в нравственной семье. Государство этого достичь не может: оно эгоистично. Постепенного смягчения этого положения дел можно ожидать от нивелирующих сношений в среде данного народа и от тесного контакта между представителями молодого поколения различных народов. Может быть, посодействует этому сокращение скорости стоимости путешествий, так что и менее состоятельные семьи различных наций чаще смогу посылать

с вопросами, которые служат разделению народов, все яснее и с большей силой выступают великие общие цели, которые в будущем будут поглощать все силы людей.

своих детей друг к другу, хотя бы на время каникул. Как далека еще от практического осуществления идея мира, мы видели недавно в южной Африке и Китае, сейчас же после попытки создания интернационального третейского суда. При всем том все те, кто содействовал выяснению этой идеи, хотя бы теоретически или академически, и тем подготовили почву для дальнейшего ее развития, могут быть уверены в величайшей благодарности будущих поколений. 1902 г.

Эрнст Мах

Популярные лекции по физике

Дизайнер М. В. Ботя
Технический редактор А. В. Широбоков
Компьютерная верстка С. В. Высоцкий
Корректор М. А. Ложкина

Подписано в печать 11.07.01. Формат $60 \times 84^1/_{16}$.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,44. Уч. изд. л. 7,53.
Гарнитура Computer Modern Roman. Бумага газетная.
Тираж 1000 экз. Заказ №

Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика»
426057, г. Ижевск, ул. Пастухова, 13.
Лицензия на издательскую деятельность ЛУ №084 от 03.04.00.
http://rcd.ru E-mail: borisov@uni.udm.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленных диапозитивов в ФГУП «Полиграф-ресурсы».
101429, г. Москва, ул. Петровка, 26.